



## ÉTUDE SUR LES AVANTAGES DE LA PRÉFABRICATION

PRÉSENTÉ À



Quebec Wood  
Export Bureau

RAPPORT FINAL

MARS 2018

## ÉQUIPE DE RÉALISATION

Responsable du mandat	Julie-Anne Chayer, ing. <i>Directrice, Relations d'affaires, Responsabilité d'entreprise</i>
Réalisation du mandat	Antoine Léger Dionne, ing. jr. <i>Analyste</i> Hugues Imbeault-Tétreault, ing., M.Sc.A. <i>Analyste principal</i>
Révision	François Charron-Doucet, ing., M.Sc.A. <i>Directeur scientifique, Responsabilité d'entreprise</i> Andrea Vallejos, M.A. en économique <i>Conseillère, Études économiques</i>

## SOMMAIRE



La **préfabrication** est une technique de construction qui consiste à fabriquer en usine des éléments d'un ouvrage qui seront ensuite assemblés sur le chantier. Passant de l'intégration de simples composants usinés à la construction modulaire (c.-à-d. à partir de blocs usinés), le bâtiment préfabriqué se décline sous plusieurs formes. Suscitant un intérêt grandissant auprès des fabricants, cette nouvelle méthode de construction est amenée à progresser au cours des prochaines années compte tenu de la demande croissante pour les composants préfabriqués, de la qualité de construction en usine et du manque de main-d'œuvre.

La préfabrication comporte plusieurs **avantages**. Elle permet notamment de **réduire le temps de construction**, une **meilleure gestion des résidus** de construction à l'usine et d'offrir un milieu contrôlé favorisant une **meilleure qualité de construction**. Ces avantages procurent des bénéfices sur le plan environnemental et le plan économique.

Bien qu'un nombre important d'études présente de façon générale les bénéfices perçus qu'offre la préfabrication, l'évaluation quantitative de ces avantages reste toutefois limitée. **La présente revue de littérature documente les bénéfices environnementaux et économiques de la préfabrication** afin de mieux comprendre les impacts de la construction préfabriquée par rapport à la construction conventionnelle sur chantier. L'étude a été réalisée en s'appuyant sur **plus de 80 références publiées au cours des 10 dernières années** et portant sur trois types de produits préfabriqués : la **préfabrication de modules**, la **préfabrication de panneaux**, et le **bois d'ingénierie**. Un sommaire des bénéfices environnementaux et économiques principaux de la préfabrication est présenté au Tableau 0.1, dans lequel on retrouve les pourcentages de réduction ou d'augmentation des paramètres énumérés par rapport à la construction conventionnelle.

Les **bénéfices environnementaux** de la préfabrication sont principalement attribuables à une réduction du temps de chantier, permettant de réduire l'empreinte carbone du processus de construction, et à une meilleure gestion des résidus de construction à l'usine. De plus, la préfabrication permettrait de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) issues du chauffage à l'étape d'occupation du bâtiment grâce à une amélioration de l'étanchéité de la construction.

Les principaux **bénéfices économiques** évoqués ont trait à la productivité accrue lors de la construction en usine, permettant de réduire les coûts de main-d'œuvre et de raccourcir les délais de construction. De nombreuses études soulignent qu'un temps de construction plus court peut signifier des revenus d'occupation plus rapides qui compenseraient des coûts de constructions préfabriquées parfois plus élevés.

Section du document

Section 1

Section 4

Section 2

Section 3

Sections 5.2 à 5.6

Sections 6.2 à 6.4



**Tableau 0.1 : Bénéfices environnementaux et économiques de la préfabrication, et pourcentages de variation par rapport à la construction conventionnelle**

	Modulaire	Panneaux	Bois d'ingénierie
<b>Bénéfices environnementaux</b>			
Réduction des résidus de construction	50-77 %	55-60 %	N.D.
Réduction des émissions GES générées à l'étape de construction due à un temps de construction plus court	29 %	N.D.	N.D.
Réduction de la consommation énergétique du bâtiment liée à une meilleure étanchéité	7-25 %	N.C.	0 %
<b>Bénéfices économiques</b>			
Réduction des coûts de construction	0-16 %	10-15 %	Moins de 0 % à 2,2 %
Réduction des coûts d'approvisionnement en bois	8-10 %	0 %	Moins de 0 %
Augmentation des profits attribuable à une durée de construction plus courte	N.C.	28 %	N.D.
Réduction des coûts de main d'œuvre attribuable à une baisse du nombre de travailleurs	30 %	28-59 %*	N.D.
Réduction des coûts énergétiques du bâtiment**	7-25 %	N.C.	0 %
Réduction des coûts liés aux accidents de travail	N.C.	N.C.	N.C.
Réduction des coûts liés au gaspillage et à l'enfouissement des matériaux	N.C.	N.C.	N.C.

Légende : N.D. = non documenté; N.C. = non chiffré dans la littérature consultée ou chiffre jugé non représentatif

\* Sur chantier seulement, excl. travail en usine. Réduction des coûts ou des heures travaillées.

\*\* Semblable à la réduction de la consommation d'énergie.

Section  
5

Section  
6

Section  
7

Section  
8

Section  
9

En complément aux bénéfices environnementaux et économiques, les obstacles et défis de la préfabrication ont été abordés.

Ensuite, l'étude a révélé que certains éléments de la littérature devraient être davantage approfondis, soit par une collecte de données spécifiques ou des analyses supplémentaires. Ceux-ci incluent, entre autres, les bénéfices potentiels en termes d'efficacité énergétique, de durée de vie du bâtiment, de résidus de construction, d'utilisation de matériaux, d'accidents de travail et de coûts d'entretien.

Les résultats de cette revue de littérature fournissent un argumentaire plus éclairé en faveur de la préfabrication, ainsi que des pistes de travaux futurs qui permettront de préciser certains bénéfices potentiels actuellement peu documentés dans la littérature. Sans être une innovation de rupture, qui rendra les techniques classiques en place obsolètes, la construction préfabriquée constitue un pas de plus vers une plus grande industrialisation du secteur de la construction, générant des bénéfices économiques non négligeables. Cependant, des conditions favorables doivent être réunies pour qu'elle constitue le bon choix. Bien que l'on assiste à certains bénéfices en matière d'émissions GES et de résidus lors de la construction, ceux-ci sont vraisemblablement faibles en comparaison au cycle de vie d'un bâtiment. Dans ce contexte, les bénéfices en termes d'efficacité énergétique semblent d'une grande importance, d'où la pertinence de mieux les quantifier.

**TABLE DES MATIÈRES**

Liste des abréviations et sigles.....	vii
1. Mise en contexte.....	1
2. Méthodologie.....	2
3. Produits préfabriqués .....	3
4. Avantages généraux de la préfabrication .....	4
5. Bénéfices environnementaux .....	6
5.1 Contexte environnemental .....	6
5.2 Réduction de l'utilisation de matériaux de construction.....	8
5.3 Réduction des résidus de construction .....	9
5.4 Bénéfices liés à la réduction du temps de construction .....	10
5.5 Augmentation de l'efficacité énergétique du bâtiment .....	11
5.6 Autres bénéfices.....	12
5.7 Synthèse .....	12
6. Bénéfices économiques .....	14
6.1 Contexte économique.....	14
6.2 Réduction des coûts de construction.....	14
6.2.1 Utilisation de matériaux de construction .....	15
6.2.2 Temps de construction .....	15
6.2.3 Main-d'œuvre .....	16
6.3 Réduction des coûts d'occupation et d'exploitation du bâtiment .....	17
6.3.1 Augmentation de l'efficacité énergétique du bâtiment.....	17
6.4 Autres bénéfices.....	17
6.5 Synthèse .....	18
7. Obstacles et défis.....	20
8. Limites et éléments à approfondir.....	21
9. Conclusions .....	26
Références.....	27
Annexe A Publications analysées.....	32

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 5.1 : Conditions favorables aux bénéfices environnementaux de la préfabrication .....	13
Tableau 6.1 : Conditions favorables aux bénéfices économiques de la préfabrication .....	19
Tableau 8.1 : Résumé des bénéfices environnementaux de la préfabrication et qualité des données	22
Tableau 8.2 : Résumé des bénéfices économiques de la préfabrication et qualité des données .....	24
Tableau 8.3 : Données à approfondir .....	25

## LISTE DES FIGURES

Figure 5.1 : Étapes du cycle de vie d'un bâtiment .....	6
Figure 5.2 : Répartition des émissions de GES du cycle de vie d'un bâtiment résidentiel multifamilial de l'écoquartier de Pointe-aux-Lièvres à Québec. Adapté de Chayer (2018). .....	7

**LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SIGLES**

---

ACV	Analyse de cycle de vie
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CLT	<i>Cross-laminated timber</i>
CEN	Commission européenne de normalisation
CO <sub>2</sub>	Dioxyde de carbone
GES	Gaz à effet de serre
GLT	<i>Glued laminated timber</i>
IC	Industrie Canada
MBI	<i>Modular Building Institute</i>
NIBS	<i>National Institute of Building Sciences</i>
pi <sup>2</sup>	Pied carré
QWEB	Bureau de promotion des produits du bois du Québec
RA/h	Renouvellement d'air à l'heure
s.d.	Sans date
SCHL	Société canadienne d'hypothèques et de logement
SCIAN	Système de classification des industries de l'Amérique du Nord





## 1. MISE EN CONTEXTE

La préfabrication est une technique de construction qui consiste à fabriquer en usine des éléments d'un ouvrage qui seront ensuite assemblés sur le chantier. Le bâtiment préfabriqué peut donc prendre plusieurs formes, passant de l'intégration de simples composants usinés (ex. : murs ouverts, fermes de toit, solives de plancher, etc.) à la construction modulaire où le bâtiment est essentiellement construit en imbriquant l'un dans l'autre des modules préfabriqués.

Au **Québec**, 142 entreprises œuvrent dans la préfabrication de bâtiments en bois (SCIAN 321992), de bâtiments en métal et leurs composants (SCIAN 332311), la fabrication de produits de charpente en bois (SCIAN 321215), ainsi que dans le montage de charpentes d'acier et la mise en place de béton préfabriqué (SCIAN 23812). Au Canada, c'est 396 entreprises qui œuvrent actuellement dans ces secteurs (IC, 2017). Aux États-Unis, entre 62 % et 84 % des entrepreneurs généraux utilisent des composants préfabriqués et la majorité d'entre eux s'attendent à une augmentation de la demande dans les trois prochaines années (McGraw-Hill, 2011; USG, 2018).

L'industrie de la construction préfabriquée fait l'objet d'un intérêt particulier dans plusieurs régions du globe pour différentes raisons. Au Québec, cette technique peut être perçue comme la **porte d'entrée du bois sur des marchés de constructions à plus grande échelle** que des résidences unifamiliales. Ailleurs, là où une pénurie de logements a lieu, la préfabrication est une opportunité pour **augmenter la productivité et mieux répondre à une demande** grandissante, notamment en Alberta (Houdek et Gibson, s.d.) et au Royaume-Uni (Miles et Whitehouse, 2013). En Chine, où l'exode rural se poursuit, une politique gouvernementale vise l'augmentation de la préfabrication dans la construction non seulement afin de réduire le temps de construction, mais également pour **réduire les impacts environnementaux liés à la construction** (China Daily, 2016). C'est également le cas en Écosse où le gouvernement souhaite réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES) en lien avec la construction et l'utilisation de logements par le biais de sa stratégie sur le logement durable (Homes for Scotland, 2015).

Il existe, au Québec et ailleurs dans le monde, un grand nombre d'études qui recensent et analysent les avantages de la préfabrication. Certaines de ces études se concentrent sur des éléments spécifiques tels que les délais de construction, les aspects économiques ou la performance environnementale. L'ensemble de ces informations ne sont toutefois pas colligées de manière à faire un portrait détaillé permettant de dégager des constats sur les avantages et barrières de cette technique de construction.

Dans le cadre de ce rapport, une revue critique de la littérature sur les avantages environnementaux et les bénéfices économiques reliés à la préfabrication a été réalisée. Plus précisément, la présente étude avait pour objectifs de :

- **Documenter les bénéfices environnementaux et économiques** de la préfabrication à partir d'une revue de littérature;
- **Identifier les informations manquantes ou incomplètes** à investiguer ultérieurement.

Ce rapport expose d'abord la méthodologie employée lors de la revue littérature. Les résultats sont ensuite présentés en termes d'avantages environnementaux, puis économiques. Enfin, une section est réservée pour survoler les obstacles et désavantages de la préfabrication.

## 2. MÉTHODOLOGIE

---

Afin de documenter les avantages environnementaux et économiques liés à la construction préfabriquée dans les secteurs résidentiels et non résidentiels, une revue de littérature a été effectuée. En plus de la grande quantité de références qui ont été fournies par les mandataires de l'étude, une recherche bibliographique a permis de répertorier d'autres références publiées au cours des 10 dernières années. Bien que la construction préfabriquée existe depuis plus longtemps, les auteurs de la présente étude ont jugé que cette période était suffisamment longue pour répertorier un nombre suffisant de références. De plus, elle a permis de se concentrer sur les développements les plus récents dans l'industrie. Les références répertoriées incluent des articles de la littérature scientifique et des rapports de type gouvernemental ou institutionnel (ex. : Société canadienne d'hypothèques et de logement), mais également des publications de la « littérature grise » : articles de magazines dans le domaine de la construction, présentations et rapports d'organisations (ex. : FPInnovations, Cecobois), brochures, pages web, résumés de conférence et articles non révisés par des pairs. Étant donné leur abondance, les références issues de ce type de littérature ont fait l'objet d'une évaluation quant à leur qualité et leur pertinence, basée sur le degré de transparence et la validité de la méthodologie employée, ainsi que la solidité de l'argumentation (ex. : appuyée ou non par des sources). Seules les plus pertinentes et crédibles ont été retenues pour l'analyse. Cette évaluation a permis de bien distinguer les références faisant état de la perception des acteurs du milieu au sujet de la préfabrication des études plus objectives.



**Au total, environ 80 publications provenant principalement des États-Unis, du Royaume-Uni, du Québec, de Chine et d'Australie ont été évaluées.** Elles sont présentées à l'annexe A avec le résultat de l'évaluation qualitative de leur pertinence. Environ les deux tiers d'entre elles ont été jugées hautement ou moyennement pertinentes pour l'atteinte des objectifs de l'étude. Bien que ces références ne représentent pas la totalité des publications sur le sujet, l'analyse montre qu'un point de saturation a été atteint, c'est-à-dire qu'il n'y avait plus de nouveaux enjeux identifiés dans les articles consultés. Il est donc possible d'avancer que le portrait présenté ici rapporte de manière adéquate les principaux enjeux reliés à ces filières.

Bien que la revue se soit concentrée sur les constructions en bois, elle n'était pas limitée à un matériau de construction en particulier, afin de couvrir un plus grand bassin de publications.

### 3. PRODUITS PRÉFABRIQUÉS

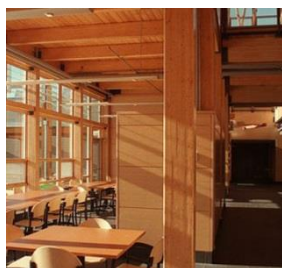
---

La préfabrication consiste principalement à assembler en usine des parties de bâtiments qui sont ensuite transportées vers le chantier pour être intégrées au bâtiment en construction. En anglais, le terme « off-site » (hors chantier) est souvent utilisé pour décrire ce type de construction.

Comme il est couvert dans Julien et al. (2015) et GCCDS (s.d.), le degré de préfabrication peut largement varier, allant de simples composants en bois d'ingénierie à des maisons entières. Sans constituer une description exhaustive, les produits préfabriqués à l'étude peuvent se résumer de la façon suivante.

#### Bois d'ingénierie

---



Le bois d'ingénierie est un assemblage de planches de bois d'œuvre jointes à l'aide d'une colle ou d'un autre moyen (ex. clous) de façon à obtenir des propriétés techniques précises. Plusieurs catégories de bois d'ingénierie existent : principalement, le bois lamellé-collé (*glulam* ou GLT pour *glued laminated timber*) formant des poutres structurelles et le bois lamellé-croisé (*X-lam* ou CLT) formant des dalles ou des panneaux structureaux.

#### Préfabrication de panneaux

---



La fabrication des murs d'un bâtiment peut être délocalisée en usine sous forme de panneaux. Ces panneaux peuvent être constitués de bois ou d'autres matériaux. Une fois fabriqués, ils sont empilés et livrés au chantier où ils sont érigés. L'isolation peut être installée en usine, ainsi que d'autres composants dont les fenêtres, les composants électriques et la plomberie. La préfabrication de panneaux inclut également d'autres systèmes tels que les planchers et les toits<sup>1</sup>.

#### Préfabrication de modules

---



La préfabrication de modules est une technologie de construction hautement préfabriquée. Elle consiste à produire des sections entières d'un bâtiment qui seront assemblés ensemble au chantier. Cette technique est applicable à un grand éventail de types de bâtiments incluant des résidences multilogements, des hôtels, des hôpitaux, etc. Une grande partie de la mécanique du bâtiment (plomberie, électricité et ventilation) peut être posée directement à l'usine, réduisant ainsi les tâches à accomplir au chantier.

Images : QWEB (2018)

---

<sup>1</sup> L'inclusion de systèmes autres que les panneaux dans cette catégorie reflète la littérature analysée et n'affecterait pas les conclusions.

## 4. AVANTAGES GÉNÉRAUX DE LA PRÉFABRICATION

---

Les avantages généraux de la préfabrication sont nombreux et sont liés à une augmentation de l'industrialisation de la construction. Pouvant varier d'un type de préfabrication à l'autre, les avantages rencontrés le plus fréquemment dans la littérature concernent les aspects suivants de la construction.



### TEMPS DE CONSTRUCTION

La préfabrication permet de raccourcir le temps d'un projet grâce à un temps de construction plus court<sup>2</sup>. Il s'agit de l'avantage que procure la préfabrication le plus cité dans la littérature, que ce soit dans les secteurs résidentiels et non résidentiels, en termes de préfabrication de panneaux ou modulaire. La vaste majorité des études consultées indique que la préfabrication permet de diminuer le temps de construction par rapport à une construction réalisée entièrement sur site. La **construction modulaire pour des multilogements résidentiels** permettrait de **réduire la durée du chantier de 37 à 50 %** (Al-Hussein et al., 2009; Lawson, 2010; Kamali, 2016; Mah, 2011; Lawson et Ogden, 2010; Smith, 2015; MBI, 2016). De façon similaire, pour le cas de constructions non résidentielles, les données recensées de sept projets de construction aux États-Unis affichent une réduction moyenne de durée de projet de 45 % (Smith, 2015). Pour ces cas précis, le gain est particulièrement substantiel étant donné qu'il s'agit d'ouvrages de taille plus importante (entre 40 000 et 80 000 pi<sup>2</sup>). D'autre part, selon un sondage effectué auprès de professionnels du bâtiment en Amérique du Nord, près de 72 % des entrepreneurs interrogés indiquent que le recours à la construction préfabriquée en général permet de réduire la durée du chantier d'au moins une semaine (McGraw-Hill, 2011). En contrepartie, le cas du chantier de l'hôpital de Denver fait état d'un raccourcissement d'échéancier plus modeste de 19 % en comparaison avec ce qui serait planifié avec une construction non modulaire (Mortenson, 2014).

Plusieurs facteurs sont rapportés pour expliquer cette meilleure performance. La délocalisation de la fabrication permet d'effectuer des tâches en parallèle contrairement au déroulement plutôt linéaire des activités pour la construction conventionnelle sur chantier (MBI, 2016; Julien et al., 2015). Plusieurs corps de métier peuvent ainsi travailler simultanément sans avoir à attendre que la structure et l'enveloppe soient construites. Par exemple, dans le cas d'une maison, la fabrication des murs en panneaux préfabriqués peut débuter pendant que les fondations de la maison prennent forme (Julien et al., 2015). Une fois les composants prêts, ils sont livrés et assemblés sur site. L'étape d'assemblage sur site est plus courte et moins complexe que la construction conventionnelle. À ce titre, une comparaison côte-à-côte de la construction d'une maison en bois fait de panneaux et composants préfabriqués et d'une maison construite entièrement sur site a été effectuée en Alberta (FPInnovations, s.d.). Au terme de cette expérience, la construction à l'aide de panneaux a été complétée quelques jours avant la version conventionnelle.

---

<sup>2</sup> Dans le cas de la construction conventionnelle, le temps de construction est égal à la durée de chantier. Quant à la construction préfabriquée, il tient également compte du travail en usine.

D'autre part, l'environnement contrôlé en usine permet de mieux planifier l'inventaire de matériaux, qui sont généralement commandés sur mesure. Aussi, l'automatisation permet d'optimiser les étapes de découpage. Ces deux éléments engendrent des réductions de quantités de résidus générés (Julien et al., 2015; Quale et al., 2012). De plus, la construction conventionnelle est davantage assujettie aux retards occasionnés par les intempéries et les délais possibles dans les livraisons des matériaux (SCHL, 2013). En contrepartie, la construction préfabriquée n'est pas complètement à l'abri de retards dus à la météo puisque le transport de cargaison surdimensionnée peut être assujetti à des restrictions sous certaines conditions météorologiques.

Selon des études de cas réalisées en Australie et au Royaume-Uni, le recours au bois lamellé-collé permettrait aussi de réduire le temps de construction de 26 à 30 % par rapport à une construction conventionnelle en béton (Walsh, 2013; Yates et al., 2008). En effet, la légèreté du bois lamellé-collé permet d'accélérer le processus d'assemblage au chantier et les délais de temps liés au séchage du béton coulé sont éliminés (Falk, 2013; Kremer et Symmons, 2015).

### QUALITÉ DE CONSTRUCTION

Parmi les autres avantages répertoriés de la préfabrication, notons une qualité de construction supérieure à la construction conventionnelle (Alazzaz et Whyte, 2014; Al-Hussein et al., 2009; Boafu, 2016; Cecobois, 2013; Homes for Scotland, 2015; Julien et al., 2015, NIBS, 2014, SCHL, 2015; Steinhardt et al., 2013; WoodWorks, 2014; Xu et Zhao, 2010). D'une part, l'environnement contrôlé à l'usine de préfabrication rend plus efficaces les activités d'inspection et de contrôle, ce qui facilite le suivi de la qualité de la construction (Julien et al., 2015; SCHL, 2013). Aussi, le recours aux outils automatisés permet une plus grande précision lors des activités de construction (ex : découpage des pièces, clouage, assemblage des composants, etc.) (Julien et al., 2015). Enfin, l'entreposage des matériaux à l'abri des intempéries permet de contrôler le taux d'humidité des composants en bois et ainsi d'éviter leur déformation une fois installés, ce qui contribue à améliorer la qualité du produit et du bâtiment fini (SCHL, 2013; WoodWorks, 2014). La qualité de construction de la préfabrication modulaire se traduirait ainsi par une meilleure étanchéité et une structure plus solide que pour les constructions traditionnelles (Al-Hussein et al., 2009).

### MAIN-D'ŒUVRE

Le recours à la préfabrication est certainement avantageux dans des contextes de rareté de main-d'œuvre qualifiée en région éloignée et en grande période de construction (SCHL, 2013). Il est reconnu que certaines tâches en usine nécessitent moins de qualifications, ce qui donne accès à un plus grand bassin de travailleurs, bien que d'autres tâches propres à la préfabrication nécessitent une spécialisation (Homes for Scotland, 2015; Julien et al., 2015; MBI, 2016; SCHL, 2013). Dans la même optique, la localisation d'usines de préfabrication près de grands centres urbains peut contribuer à régler le problème de pénurie de main-d'œuvre dans les régions plus éloignées (Alazzaz et Whyte, 2014; Green et Ryan, 2014). D'autre part, les emplois plus stables et moins saisonniers qu'offre l'environnement en usine contribuent à améliorer la qualité de l'environnement de travail plus confortable, réduisant ainsi les coûts associés au roulement de personnel (SCHL, 2013).

Le milieu en usine procurerait également un environnement moins propice aux accidents que les chantiers de construction, diminuant de façon importante les accidents de travail (Al-Hussain, 2009; Julien et al., 2015; WoodWorks, 2014). Cependant, les risques d'accidents en chantier sont toujours présents. Selon les statistiques d'accidents de travail dans le secteur du bâtiment préfabriqué aux États-Unis, l'étape d'assemblage est source de chutes de hauteurs et d'impacts avec de l'équipement

(Mirhadi, 2015). Enfin, les emplois en usine seraient plus accessibles aux travailleuses et favoriseraient leur présence dans le secteur de la construction (Julien et al., 2015).

Ces avantages opérationnels engendrent des bénéfices sur les plans environnementaux et économiques, qui sont décrits à la section suivante.

## 5. BÉNÉFICES ENVIRONNEMENTAUX

### 5.1 CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

L'occupation et l'exploitation des bâtiments, à eux seuls, sont responsables directement et indirectement de **19 % des émissions GES mondiales** (Lucon et al., 2014). Ce nombre exclut les autres étapes du cycle de vie d'un bâtiment, c'est-à-dire la production des matériaux, la construction et la fin de vie. Des mesures de réduction des GES dans le secteur du bâtiment sont donc incontournables dans le contexte des objectifs de l'accord de Paris sur le climat dont le Canada est signataire. Cette section évalue comment la préfabrication peut contribuer aux efforts de réduction.

L'évaluation des bénéfices qu'offre la préfabrication sur le plan environnemental nécessite une approche évaluant **toutes les étapes du cycle de vie d'un bâtiment** puisque cette technologie peut avoir un impact sur plusieurs d'entre elles (Kim, 2008). Malgré cela, les émissions de GES reliées à la préfabrication ont pour la plupart été étudiées en comparant seulement l'étape de production des matériaux et l'étape de construction entre des bâtiments préfabriqués et des bâtiments conventionnels. On compte généralement quatre étapes du cycle de vie pour un bâtiment (CEN, 2012), soit la production des matières premières (c.-à-d., les matériaux de construction), la construction (c.-à-d., les opérations sur le chantier), l'occupation et l'exploitation (incluant la consommation d'énergie et d'eau, la maintenance et les réparations), ainsi que la fin de vie du bâtiment (incluant les opérations de démantèlement et la gestion des déchets de construction).

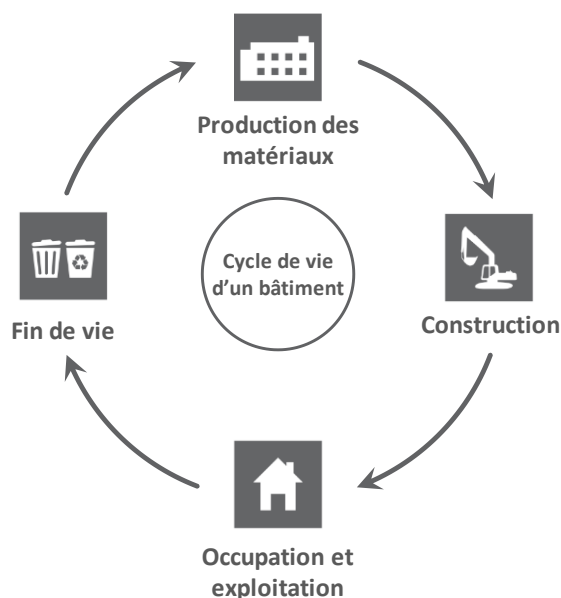


Figure 5.1 : Étapes du cycle de vie d'un bâtiment

La majorité des études d'analyse de cycle de vie (ACV) souligne que **l'étape d'occupation (bâtiment résidentiel) et d'exploitation (bâtiment non résidentiel) constitue le principal contributeur aux impacts environnementaux d'un bâtiment**. Les étapes de production et de construction ont une contribution généralement moindre, mais non négligeable aux impacts environnementaux totaux d'un bâtiment. À titre d'exemple, ces étapes sont responsables de 5 % à 40 % des émissions GES sur le cycle de vie complet du bâtiment dépendant du type de construction à l'étude (Chau et Leung, 2015; Chayer, 2018; Kim, 2008). La Figure 5.2 présente un exemple de répartition des émissions GES d'un bâtiment au Québec, pour lequel la production des matériaux et la construction contribuent pour environ 30 % des émissions totales. Cependant, dans un contexte géographique où la production

d'électricité génère beaucoup de GES comparativement au Québec, où l'hydroélectricité est très présente, l'étape d'occupation et d'exploitation peut s'avérer de plus grande importance. De plus, dans un contexte où les bâtiments sont de plus en plus performants en termes d'efficacité énergétique, la contribution de l'étape d'occupation et d'exploitation du bâtiment aux impacts totaux est amenée à diminuer au profit d'autres étapes du cycle de vie du bâtiment, telles que les étapes de production et de construction (Quale et al., 2012).

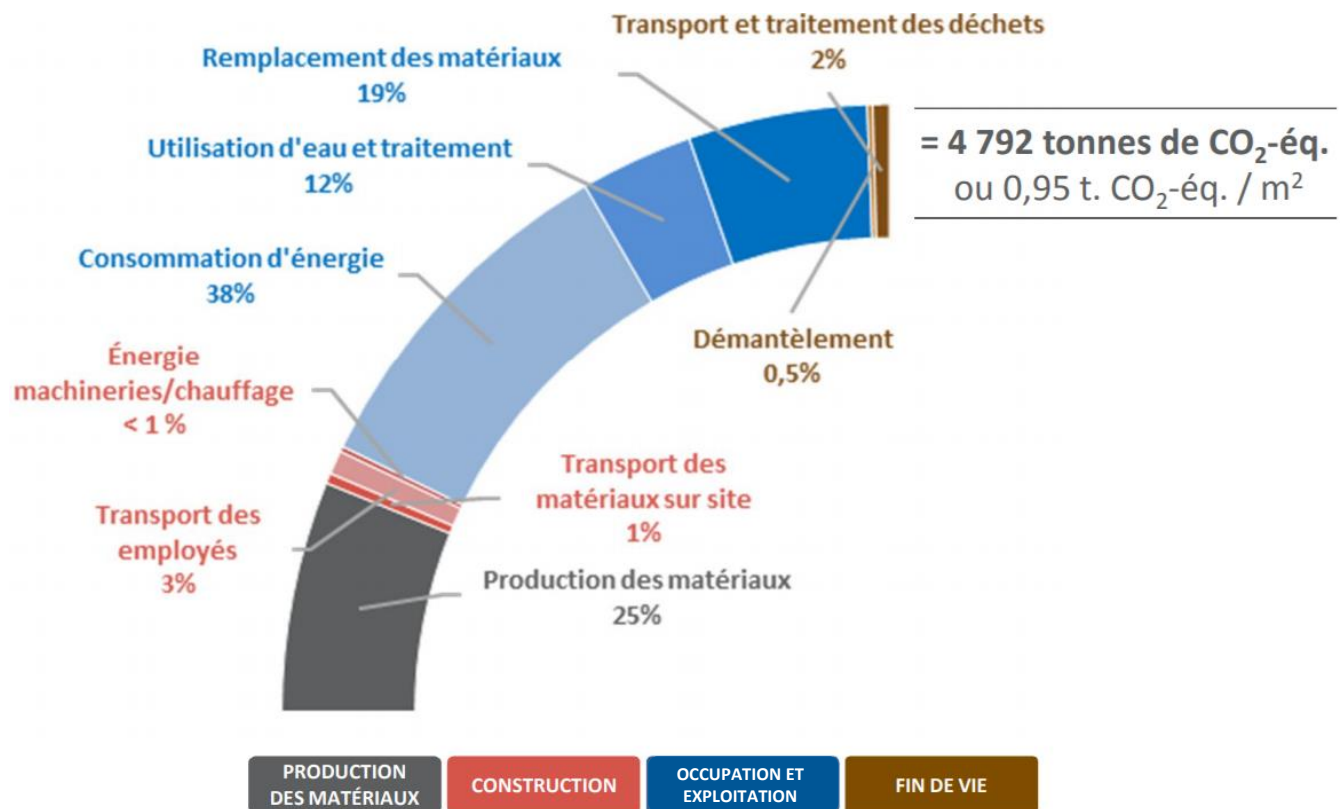
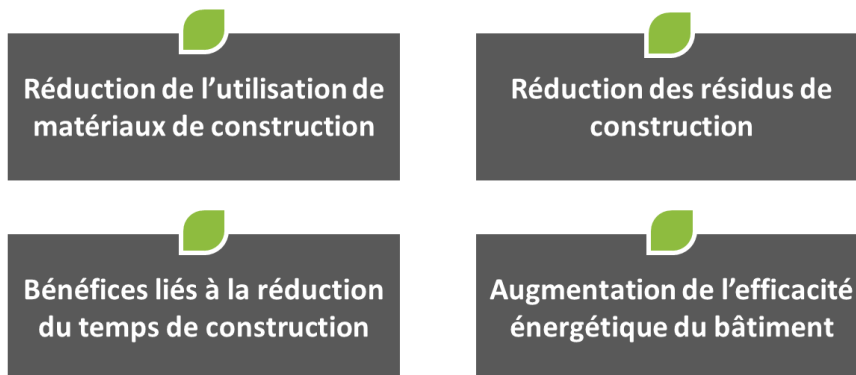


Figure 5.2 : Répartition des émissions de GES du cycle de vie d'un bâtiment résidentiel multifamilial de l'écoquartier de Pointe-aux-Lièvres à Québec. Adapté de Chayer (2018).

L'étape de fin de vie, quant à elle, représente une faible contribution aux impacts du cycle de vie. Par exemple, selon une étude britannique effectuée dans un contexte résidentiel, les émissions GES de cette étape s'élèvent à 1 % des émissions totales (Cuéllar-Franca et Azapagic, 2012).

Après avoir mis en perspective les impacts des étapes du cycle de vie des bâtiments, les sections suivantes présentent les bénéfices environnementaux de la préfabrication à savoir :



D'autres bénéfices moins étayés dans la littérature sont rassemblés dans une section distincte.

Bien que l'étendue de cette portion de l'étude ne se limite pas à la problématique des changements climatiques, les bénéfices environnementaux présentés dans cette section sont surtout décrits en termes de réductions d'émissions de GES, ce qui reflète ce qui a été recensé dans la littérature.

## 5.2 RÉDUCTION DE L'UTILISATION DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

La production des matériaux nécessaires à la construction d'un bâtiment comprend l'extraction des matières premières, leur transformation et leur transport. Ces étapes génèrent des impacts environnementaux dont l'importance par rapport au cycle de vie complet d'un bâtiment dépend de la nature des matériaux, ainsi que de la quantité de matériaux utilisés. La réduction à la source est donc un moyen de limiter les impacts environnementaux dus à leur production. Cette section présente le potentiel de la préfabrication à cet égard.

La perception selon laquelle la préfabrication permettrait une réduction de l'utilisation des matériaux de construction est bien présente dans l'industrie. Selon un sondage réalisé auprès d'une centaine de professionnels en bâtiment aux États-Unis, 62 % des répondants estiment que la préfabrication permet en général de réduire la quantité de matériaux utilisés, avec 21 % des répondants qui estiment cette réduction se situant entre 6 et 15 %, et 35 % des répondants qui l'estiment entre 1 et 5 % (McGraw-Hill, 2011). Plusieurs facteurs peuvent contribuer à expliquer ces chiffres. D'abord, l'utilisation de matériaux de dimensions standards et d'équipement de coupe précis **diminuent les retailles à l'usine et, par conséquent, les pertes de matériaux en comparaison à la construction en chantier** (voir section 5.3). De plus, une meilleure gestion de l'inventaire de matériaux en usine de préfabrication permettrait également de réduire les quantités requises. Par exemple, il ne serait pas nécessaire de commander un surplus de matériaux afin de prévenir des délais de chantier liés à une pénurie de matériaux, ou encore à des dommages dus à de mauvaises conditions météorologiques, comme ce serait pratique courante aux États-Unis pour la construction conventionnelle de maisons en bois (Quale et al., 2012). Également, il arrive que les quantités de matériaux livrés par les fournisseurs dépassent





les quantités requises pour la construction conventionnelle, menant au gaspillage des ressources non utilisées à la fin du chantier. La préfabrication serait donc moins susceptible de générer ce genre de gaspillage.

Cependant, bien que la préfabrication permette en général une diminution des pertes de matériaux de construction à l'usine par rapport au chantier, l'utilisation de matériaux ne serait pas moindre. En effet, les éléments structuraux additionnels requis dans l'ouvrage final **modulaire**, notamment pour le transport, **augmentent entre 10 et 25 % la masse de la construction d'une maison modulaire en bois** (Kamali, 2016; Quale et al., 2012), ce qui annulerait les bénéfices de la préfabrication en termes d'utilisation de matériaux. À cet effet, Kim (2008) estime qu'une maison conventionnelle en bois du Michigan est composée de 9 % moins de matériaux que sa version modulaire. L'augmentation des quantités requises de matériaux serait encore plus importante pour la construction modulaire de multilogements; selon une étude de cas présentée dans une publication du Modular Building Institute (MBI, 2016), l'augmentation de la quantité de matériaux peut atteindre 50 % dans certains projets puisque chaque module est muni de sa propre charpente, ce qui double les quantités de matériaux requis dans les murs, les plafonds et les planchers. Pour la construction préfabriquée par **panneaux**, l'évaluation des quantités de matériaux pour des bâtiments résidentiels en bois en Alberta indique que les quantités de matériaux étaient **sensiblement les mêmes** à celles des constructions conventionnelles (FPInnovations, s.d.). Notons que dans le cas de constructions en **bois d'ingénierie** de moins de six étages, les quantités de bois seront généralement plus élevées pour les bâtiments en bois lamellé-collé par rapport à un bâtiment équivalent à ossature de bois légère (Ramage et al., 2017). D'autre part, Falk (2013) fait valoir que la consommation d'un grand volume de matériau est une critique courante du CLT.

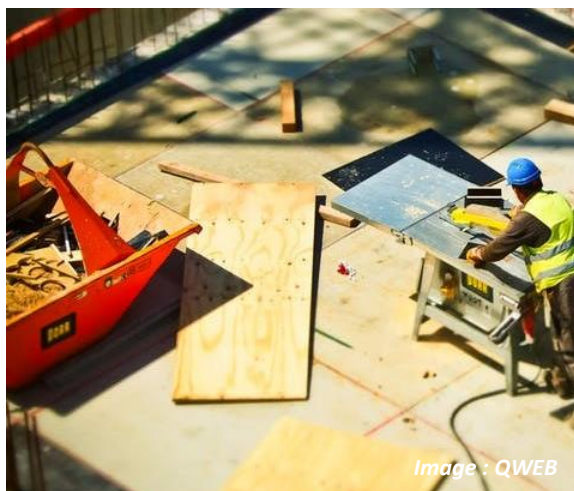
Ainsi, en se basant sur les études crédibles évaluant directement les quantités de matériaux, il n'est pas démontré de façon robuste que **le recours à la préfabrication par panneaux permettrait de réduire de façon significative la quantité de matériaux. Pour la construction modulaire, il est plutôt probable que la quantité de matériaux augmente** étant donné le dédoublement d'éléments de charpente.

### 5.3 RÉDUCTION DES RÉSIDUS DE CONSTRUCTION

Les résidus de construction correspondent aux pertes de matériaux générées à l'usine ou sur le chantier à l'étape de construction et qui sont soit récupérés ou acheminés aux sites d'enfouissement. En 2015, 233 000 tonnes de matières résiduelles ont été envoyées dans un lieu d'enfouissement de débris de construction et de démolition au Québec (RECYC-QUÉBEC, 2017). Cette quantité représente un gaspillage de ressources pour un secteur consommant beaucoup de matières.

Bien que la préfabrication ne permette pas de diminuer la consommation de matériaux de construction en raison d'éléments structuraux plus robustes nécessaires pour le transport et du dédoublement de certains éléments de charpente comme le plancher, le plafond et certains murs (Kamali, 2016; Kim, 2008; MBI, 2016; Quale et al., 2012), les matières résiduelles générées au début du cycle de vie d'un bâtiment seraient réduites. En effet, la majorité des études consultées abordant la question des résidus de construction indique que le recours à la **préfabrication modulaire** permet de **réduire la quantité de résidus générés lors de l'étape de construction entre 50 et 77 %** (Jaillon et al., 2009; Kim, 2008; Lawson et al., 2012) grâce à une gestion optimale des stocks de matériaux à l'usine de préfabrication. Le taux de génération de résidus à l'usine (excluant l'assemblage sur site) pour la **construction modulaire** varie entre 1 et 5 % (Al-Hussein et al., 2009; Lu, 2013; Lawson et al.,

2012; WRAP [b], s.d.). Un taux de 1,6 % pour la fabrication de panneaux en bois au Royaume-Uni est rapporté (WRAP [a], s.d.). Les déclarations environnementales de produits<sup>3</sup> pour les **composants préfabriqués** de bâtiment (poutrelles de plancher, toit, mur ouvert) affichent aussi un faible taux de génération de résidus de bois à l'usine de préfabrication, c'est-à-dire de moins de 5 %, et près de 100 % des résidus sont recyclés ou utilisés pour le chauffage (QWEB, 2017). Cette bonne performance à l'usine de préfabrication s'explique principalement par l'utilisation de gabarits qui facilitent la standardisation des matériaux, minimisant ainsi les pertes. Le recours à des outils automatisés et à plus de contrôle de qualité à l'usine de préfabrication permettent aussi de limiter le gaspillage de matériaux (SCHL, 2013). Les résidus générés peuvent être plus facilement recyclés et valorisés en usine selon Cecobois (2013). D'autre part, une étude réalisée en Alberta comparant la construction d'une maison en bois fait de **panneaux** préfabriqués avec une maison conventionnelle indique que la quantité de résidus de bois générés pour la construction en panneaux a diminué de 55 à 60 % par rapport au scénario conventionnel (Houdek et Gibson, SD).



Quant à la **construction conventionnelle**, bien que les quantités de résidus générés sur les chantiers de construction soient rarement comptabilisées (à l'exception des projets LEED), les données recensées montrent un taux de génération de résidus généralement plus élevé. Par exemple, Lawson et al. (2012) estime ce taux entre 10 % et 13 % dans un contexte britannique de tour à logements, tandis qu'Al-Hussein et al. (2009) font état de 22 % en Alberta. Parmi les facteurs évoqués, les coûts de gestion et de récupération des matériaux en surplus ou endommagés poussent les entrepreneurs à envoyer ces matériaux au centre de tri ou à l'enfouissement.

#### 5.4 BÉNÉFICES LIÉS À LA RÉDUCTION DU TEMPS DE CONSTRUCTION

Un des principaux avantages de la préfabrication est la réduction du temps de construction. Dans le cas de Quale et al. (2012) aux États-Unis, cet avantage serait en majeure partie responsable de la **réduction de 29 % des émissions de GES liées aux étapes de production des matériaux et de construction** pour une **maison de bois modulaire**. D'une part, des activités émettrices de GES sont réduites, dont l'utilisation sur site de **machineries** et d'**équipements**, ainsi que le **transport des travailleurs**. D'autre part, puisque l'essentiel de la construction préfabriquée est réalisé en usine et que l'assemblage sur chantier est relativement court par rapport à une construction conventionnelle, le recours au **chauffage** en période hivernale est réduit (Al-Hussein et al., 2009)<sup>4</sup>. Notons que la contribution du chauffage en hiver peut être très variable en fonction de l'échéancier du projet, de la taille du bâtiment à construire et de la température locale. Par exemple, selon Chayer (2018), les

<sup>3</sup> Document basé sur l'analyse de cycle de vie et décrivant la performance environnementale d'un produit, notamment en termes de quantité de résidus générés lors de sa production. D'autres indicateurs sont également présentés, par exemple les émissions de GES.

<sup>4</sup> Cette étude tient compte du chauffage de l'usine de préfabrication.

émissions de GES du chauffage lors de la construction représentaient moins de 1% des émissions totales sur le cycle de vie d'un bâtiment au Québec.

Enfin, en réduisant la durée du chantier de construction, le recours à la préfabrication a aussi pour effet de limiter les perturbations locales sur le sol, l'air et l'eau, causées par le chantier de construction (ex : congestion routière, occupation du terrain, poussières, etc.) (Timetric, 2014; WoodWorks, 2014; Zhai et al., 2014).

## 5.5 AUGMENTATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT

Concernant l'étape d'utilisation du bâtiment, beaucoup de publications mentionnent une meilleure efficacité énergétique potentielle des bâtiments préfabriqués, permettant des diminutions de la consommation d'énergie pouvant aller jusqu'à 25 %<sup>5</sup> dans le cas de constructions modulaires (Krug et Miles, 2013). À ce titre, plusieurs fournisseurs ont démontré qu'il était possible de produire des bâtiments préfabriqués à consommation énergétique nette presque nulle (SCHL, 2013). Par exemple, des **panneaux** structuraux isolés, c'est-à-dire des panneaux de copeaux orientés entre lesquels on insère une mousse isolante, ont été utilisés pour la construction de logements écoénergétiques au Nunavut. Les maisons affichaient un taux d'infiltration d'air très bas (0,19 RA/h à 50 Pa) équivalent à près d'un septième du taux maximal admissible pour une maison écoénergétique homologuée R-2000 (SCHL, 2013)<sup>6</sup>. Les auteurs de l'étude estiment que la construction contrôlée en usine est toute désignée pour la construction de logements durables puisqu'elle facilite la vérification, l'ajustement et le test des sous-systèmes tels que les panneaux photovoltaïques sur la toiture et les matériaux isolants (SCHL, 2013).



D'autre part, une analyse comparative des impacts environnementaux de **maisons modulaires** et conventionnelles aux États-Unis estime que la maison modulaire génère **5 % moins d'émissions de GES** qu'une maison conventionnelle sur l'ensemble de son cycle de vie (Kim, 2008)<sup>7</sup>. Cette réduction est attribuée à un gain d'étanchéité (0,194 RA/h, plutôt que 0,35 pour la maison conventionnelle) permettant de diminuer de 7 % la consommation énergétique du bâtiment préfabriqué. Selon Cecobois (2011) et Julien et al. (2015), la préfabrication améliore l'efficacité énergétique en raison des conditions contrôlées qu'offre la fabrication en usine permettant une **meilleure qualité de pose de l'isolation**, mais ne mentionnent pas une amélioration de l'étanchéité. Notons que les impacts liés à la consommation énergétique d'un bâtiment sont sensibles à sa position géographique puisque les sources d'énergie utilisées renouvelables et non renouvelables varient d'une région à l'autre.

<sup>5</sup> Il n'est pas clair si ce chiffre est en partie dû à l'utilisation d'équipement neuf plus efficace.

<sup>6</sup> Selon une revue de littérature effectuée par l'Institut national de santé publique du Québec, des effets sur la santé serait en lien avec un renouvellement d'air à l'heure plus faible que 0,5 (Lajoie et al., 2007). Il est donc important de surveiller la qualité de l'air intérieur à un tel niveau d'étanchéité.

<sup>7</sup> Selon cette étude, 95 % des émissions GES du cycle de vie sont générées durant l'étape d'utilisation du bâtiment résidentiel à l'étude.

Enfin, dans le cas du **bois d'ingénierie**, Rouleau et al. (2018) se sont intéressés à la comparaison de la consommation d'énergie pour le chauffage d'un immeuble « haute performance » en bois au Québec composé de deux sections distinctes : l'une en ossature légère, l'autre en CLT. En suivant la consommation d'énergie détaillée du bâtiment et sa température, les auteurs ont pu identifier les paramètres influençant le plus la consommation d'énergie. Ils n'ont pas pu conclure que le type d'assemblage en bois (ossature légère ou CLT) en était un.

## 5.6 AUTRES BÉNÉFICES

La littérature sondée relate d'autres bénéfices environnementaux reliés à la préfabrication. Cependant, ceux-ci étaient peu appuyés par des références scientifiques. Ils sont donc énumérés ici en tant que bénéfices potentiels à explorer davantage :

- **Choix des matériaux** : Pour le **bois d'ingénierie**, peu d'études comparent l'utilisation de ce matériau préfabriqué avec la construction conventionnelle en bois. La comparaison est plutôt effectuée avec d'autres matériaux, tels l'acier et le béton, que le bois d'ingénierie permet de remplacer dans certaines applications. Ces études rapportent des bénéfices environnementaux reliés à l'utilisation de bois plutôt que l'acier et le béton, notamment sur les changements climatiques (Arup Research & Development, 2008; Lehmann, 2013; Sathre, 2009). La préfabrication procurerait donc un bénéfice environnemental indirect en permettant l'utilisation de matériaux moins polluants. Or, la comparaison de matériaux aussi différents comporte des défis méthodologiques, entre autres en ce qui concerne la séquestration de carbone biogénique, ce qui nécessite une analyse plus approfondie de ce bénéfice indirect potentiel du bois d'ingénierie. Un autre exemple de bénéfice relié au choix des matériaux est la construction d'immeubles résidentiels en béton. Selon une étude chinoise, la préfabrication de **composantes** permettrait de **réduire l'utilisation d'acier d'armature**, ce qui contribue à réduire les émissions de GES (Mao et al., 2013). Cependant, la qualité des données employées par les auteurs est faible et d'autres sources appuyant leurs conclusions sont nécessaires.
- **Construction adaptable** : La construction modulaire permet aussi de créer des logements adaptables pour répondre aux besoins changeants des occupants du bâtiment ou pour de nouveaux usagers (SCHL, 2013). Dans certaines conditions propices comme les résidences temporaires de grands chantiers isolés, les modules pouvant être désassemblés et reconfigurés, ceci permet de leur donner une seconde vie, limitant ainsi le recours à de nouveaux matériaux.

## 5.7 SYNTHÈSE

Bien que l'étape d'utilisation d'un bâtiment soit en général la plus importante en termes d'impacts sur l'environnement, notamment pour les changements climatiques, les bénéfices environnementaux de la préfabrication se situeraient plutôt lors de la construction. La préfabrication permettrait de mieux gérer les résidus de construction, ainsi que de nécessiter moins de temps de chantier. Ainsi, le gaspillage de matériaux serait diminué de façon substantielle, c'est-à-dire entre 50 % et 77 %, et ce, même en tenant compte des résidus de construction générés à l'usine de préfabrication. Ce bénéfice est général, c'est-à-dire qu'il n'est pas propre à un type de préfabrication ou de matériau utilisé. Cependant, ce bénéfice ne se traduit pas nécessairement en une moins grande utilisation de matériaux pour la construction, la construction préfabriquée en bois d'ingénierie et modulaire nécessitant beaucoup de matériaux. Par conséquent, la quantité de matériaux utilisée est

équivalente, voire supérieure à la construction conventionnelle. Cette affirmation est supportée par des études ayant eu lieu surtout dans le secteur résidentiel nord-américain.

La réduction du temps de construction permettrait d'éviter, quant à elle, des émissions GES par une réduction de l'utilisation de machinerie, du transport des employés de chantier, ainsi que du chauffage de chantier en hiver. Ce bénéfice a été étudié dans un contexte de construction résidentielle nord-américaine en bois.

Pour l'étape d'occupation et d'exploitation du bâtiment, la préfabrication permettrait de réduire les émissions de GES par une amélioration de l'étanchéité de la construction, économisant de l'énergie de chauffage. Cependant, les bénéfices lors de cette importante étape du cycle de vie sont peu documentés et devraient être étudiés davantage afin de confirmer ces bienfaits.

D'autres bénéfices environnementaux de la préfabrication liés au choix de matériaux (ex. utilisation de bois d'ingénierie pour la construction d'immeubles à la place de béton ou d'acier) et à la construction adaptable ont été tirés de la littérature, mais nécessite également une étude plus approfondie.

La revue de la littérature a également permis de mettre en lumière des conditions contribuant à favoriser les bénéfices environnementaux liés au recours à la préfabrication. Le tableau suivant les présente.

**Tableau 5.1 : Conditions favorables aux bénéfices environnementaux de la préfabrication**

Facteurs	Conditions favorables
Distance de transport	Proximité de l'usine de préfabrication au site de construction : réduction des émissions de GES liées au transport des éléments préfabriqués (Écohabitation, 2014; Kim, 2008).
Efficacité énergétique	Processus de construction en usine et assemblage de qualité permettant une meilleure étanchéité du bâtiment: réduction des émissions de GES liées au chauffage lors de l'occupation et l'exploitation du bâtiment (Kim, 2008).
Temps de construction	Les courts délais de construction qu'offre la préfabrication permettent de limiter les émissions de GES notamment produites par l'équipement et le chauffage sur les chantiers de construction conventionnels, ainsi que le transport des employés (Al-Hussein et al., 2009).
Sources d'énergie à l'usine	Les bénéfices environnementaux de la préfabrication seront augmentés par l'utilisation de sources d'énergie renouvelable à l'usine de préfabrication (ex. hydroélectricité ou résidus de production).



Image : QWEB

## 6. BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES

---

### 6.1 CONTEXTE ÉCONOMIQUE

Selon une étude sur l'industrie québécoise de la préfabrication, le coût des matériaux de construction peut représenter près de 50 % des coûts totaux de construction (Julien et al., 2015). Cette proportion reste toutefois sensible au contexte géographique puisque les coûts des divers matériaux sont assujettis aux fluctuations de l'offre et de la demande des différents marchés de matières premières (ex. : approvisionnement en bois d'œuvre en Amérique du Nord).

Similairement au volet environnemental, pour lequel une part importante des impacts sur l'environnement ont lieu lors de l'occupation et de l'exploitation, les coûts d'un bâtiment ne se limitent pas à sa construction. Les coûts de son occupation et son exploitation (ex. : d'entretien et d'opération) tout au long de sa durée de vie sont les plus importants. Des économies générées lors de cette étape du cycle de vie d'un bâtiment grâce à la préfabrication pourraient donc être considérables.

Les bénéfices économiques de la préfabrication présentés dans ce chapitre sont divisés en deux :



D'autres bénéfices moins étayés dans la littérature sont rassemblés dans une section distincte.

### 6.2 RÉDUCTION DES COÛTS DE CONSTRUCTION

La réduction des coûts de construction grâce à la préfabrication varie d'une étude à l'autre en fonction du contexte géographique et du type de construction. Peu d'études présentent des analyses de coûts pour la construction préfabriquée dans un contexte canadien. À l'échelle mondiale, le levier principal évoqué par l'industrie pour le recours à la préfabrication (tout type de préfabrication et tout matériau confondus) est la baisse des coûts de construction. À ce titre, 89 % des entreprises nord-américaines sondées sur l'état actuel de la préfabrication estiment que la baisse des coûts de construction constitue le facteur principal pour le recours à la construction préfabriquée (Timetric, 2014). De plus, selon les données de sept projets de construction **modulaire non résidentielle** aux États-Unis (dont des écoles et des hôpitaux), des économies moyennes de **16 %** ont été réalisées grâce à cette forme de préfabrication (Smith, 2015). Selon le sondage de McGraw-Hill (2011) mené aux États-Unis, 74 % des entrepreneurs interrogés affirment que la préfabrication permet de réduire les coûts de construction et 23 % des répondants évaluent cette réduction à plus de 11 %.

En contrepartie, dans un autre sondage mené aux États-Unis par le *Off-Site Council* du *National Institute of Building Sciences*, bien que 51 % des entrepreneurs sondés aient répondu que le recours à la construction préfabriquée résidentielle et non résidentielle constituait une solution rentable (*cost-effective*), seulement 32 % des entrepreneurs interrogés ont indiqué que les constructions préfabriquées qu'ils avaient réalisées, principalement dans le secteur **non résidentiel**, avaient permis de réduire les coûts (NIBS, 2014).

Pour le cas de constructions **résidentielles** en modules de béton, une étude du Royaume-Uni évalue que les coûts fixes de l'usine de préfabrication sont élevés et peuvent représenter jusqu'à 20 % du coût total de construction (Lawson et Ogden, 2010). Une étude de cas dans le secteur résidentiel locatif aux États-Unis mentionne des coûts supplémentaires occasionnés par cette technique de construction, mais que ceux-ci sont compensés par le temps plus court de construction permettant d'engranger des revenus locatifs plus rapidement (MBI, 2016). D'autre part, deux études sur la construction préfabriquée résidentielle dans un contexte asiatique (Hong Kong) rapportent une augmentation de 0,25 % à 3 % des coûts de construction (Jaillon et Poon, 2008; Jaillon et al., 2009). Il est à noter que ces statistiques concernent des constructions en béton et que le coût supplémentaire serait dû à l'achat de moules en acier pour remplacer les coffrages en bois utilisés sur site.

Des exemples sont présents dans la littérature concernant le **bois d'ingénierie**. Une étude réalisée en Australie portant sur la construction d'un bâtiment de huit étages en bois lamellé-collé indique quant à elle une réduction des coûts de construction de **2,2 %** par rapport à une construction conventionnelle en béton (Dunn, 2015). Selon Cecobois (s.d.), une construction non résidentielle à charpente à ossature légère en bois serait de **10 % à 15 %** moins chère qu'une charpente d'acier conventionnelle, tandis que le lamellé-collé rectiligne aurait un coût semblable.

Les sections suivantes présentent les principaux facteurs contribuant à une réduction des coûts.

### 6.2.1 UTILISATION DE MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Tel qu'indiqué à la section 5.2, puisque la préfabrication ne permet pas de réduire à la source de façon significative leur utilisation, les **gains économiques** reliés aux matériaux de construction ne seraient **pas substantiels**. Au contraire, elle pourrait même faire augmenter les coûts en matériaux (MBI, 2016; SCHL, 2013). Malgré cela, selon Al-Hussein et al. (2009), les coûts d'approvisionnement en bois pour la construction de **maisons unifamiliales modulaires** dans un contexte **albertain** seraient **réduits de 8 à 10 %** selon les données d'une quinzaine de projets. Il s'agit d'un cas précis où la fabrication en usine permet d'éviter le gaspillage de solives de plancher en entreposant les bouts de coupe trop courts pour être utilisés jusqu'à ce qu'ils trouvent preneur dans un projet ultérieur. L'influence de la préfabrication sur les économies d'échelles (ex. achat de gros de matériaux) n'est pas couverte.

Dans le cas du **bois d'ingénierie**, une analyse des coûts de construction liés à l'utilisation du bois lamellé-collé dans la construction de **résidences unifamiliales aux États-Unis** indique une augmentation de 21 % à 30 % des coûts de construction par rapport à une ossature légère en bois conventionnelle (Burbach et Pei, 2017). Cette différence est attribuable aux coûts plus élevés des composants en bois lamellé-collé, ce qui limite leur utilisation.

Enfin, pour la construction en **panneaux**, l'étude de cas de la **résidence unifamiliale en Alberta** a estimé un coût de matériaux de bois équivalent à une maison conventionnelle (Houdek et Gibson, SD). Cependant, la référence n'indique pas si le coût des panneaux à copeaux orientés est inclus pour cette dernière. Il pourrait donc y avoir un avantage plus marqué pour la préfabrication.

### 6.2.2 TEMPS DE CONSTRUCTION

Les gains économiques rattachés à la préfabrication sont principalement attribuables à un temps de construction plus court. Cela permet une occupation du bâtiment avancée, ce qui entraîne des

**entrées de fonds plus rapides**, ainsi qu'une diminution des charges d'intérêts sur les emprunts pour les constructeurs (Houdek et Gibson, s.d.; Julien et al., 2015; MBI, 2016; Smith, 2015). À ce titre, en s'appuyant sur les données de temps de construction de **maisons** en Alberta, le recours à la construction en **panneaux** permettrait à un constructeur de compléter 25 bâtiments de type triplex en une année contre 18 bâtiments sur la même période de temps en utilisant une méthode conventionnelle de construction. Basé sur ces résultats, la construction en panneaux préfabriqués permettrait une augmentation potentielle du profit de 28 % sur une base annuelle (Houdek et Gibson, s.d.). Ce bénéfice est aussi évoqué dans le cas de constructions **non résidentielles modulaires**, dont des hôtels, hôpitaux et aéroports, pour lesquelles les perturbations d'ordre opérationnel causées par des travaux de construction ont un impact significatif sur les revenus générés par l'exploitation de ces bâtiments (Krug et Miles, 2013). La rapidité d'exécution de l'étape de construction, en favorisant une mise en marché et des revenus plus rapides, sera donc un paramètre-clé privilégié par plusieurs entrepreneurs généraux.

D'autre part, puisque la réduction du temps de construction favoriserait le **respect des échéances** de projets, ceci peut procurer un avantage concurrentiel non négligeable pour les entrepreneurs en construction (Timetric, 2014). Toutefois, dans plusieurs cas, ces économies réalisées peuvent être annulées par des coûts de **transport** plus élevés des composants préfabriqués vers le chantier de construction (Schoenborn, 2012). Évidemment, les coûts de transport sont particulièrement sensibles à la distance parcourue entre l'usine de préfabrication et le site de construction (Julien et al., 2015). De plus, malgré une réduction du temps de construction, les coûts déboursés en amont, à l'étape de **conception**, sont généralement plus élevés puisque la préfabrication nécessite un processus de conception souvent plus long (Schoenborn, 2012).



Dans le cas précis du **bois d'ingénierie**, Yates et al. (2008) rapportent une réduction du temps de construction de 26 % pour un bâtiment de neuf étages en bois lamellé-croisé par rapport à une construction conventionnelle en béton dans un contexte australien. Les auteurs notent cependant une augmentation des coûts de **30 %** pour ce même projet.

Enfin, la rapidité de la construction **modulaire** permet de réduire les coûts rattachés à l'**entreposage de l'équipement** sur un chantier. À ce titre, compte tenu que ces coûts sont souvent élevés en milieu urbain, le recours à la construction modulaire dans ce contexte permettrait ainsi de réaliser des économies (Schoenborn, 2012). Cependant, dans certains cas où peu de machinerie est nécessaire pour la construction conventionnelle, notamment dans le cas de maisons résidentielles, le recours à la préfabrication peut engendrer des coûts supérieurs dus à la location de machinerie lourde qui n'aurait autrement pas été requise (Écohabitation, 2011).

### 6.2.3 MAIN-D'ŒUVRE

Le calcul des gains économiques doit tenir compte du coût de la main-d'œuvre qui variera entre les différents marchés producteurs selon le contexte géographique de l'étude consultée (Julien et al., 2015). La plupart des études indique qu'en raison d'un **temps de construction généralement plus court** et du recours à l'**automatisation** en usine, le nombre d'heures travaillées est réduit, ce qui **diminue les coûts de main-d'œuvre** (SCHL, 2013; Kamali, 2016; Lawson et Ogden, 2010). Par exemple,



la construction d'un **bâtiment modulaire** en béton de 25 étages au Royaume-Uni a permis de réduire de **30 %** les coûts de main-d'œuvre par rapport à la construction conventionnelle et de 70 % le nombre de travailleurs sur le chantier (Lawson et Ogden, 2010). À ce titre, Schoenborn (2012) estime que, bien que la construction modulaire soit généralement associée à des coûts de construction plus élevés, celle-ci peut entraîner des économies dans des contextes où la main-d'œuvre est dispendieuse et les salaires des travailleurs et travailleuses en usine, plus bas (ex. pays industrialisés).



Pour ce qui est des **panneaux** et **composants préfabriqués**, des réductions sont également documentées. L'utilisation de composants préfabriqués pour la construction d'un hôpital aux États-Unis a permis de diminuer de 29 500 heures les besoins en main-d'œuvre sur un projet de 29,5 mois (Mortenson, 2014). De plus, la construction d'une maison américaine unifamiliale en bois à l'aide de panneaux préfabriqués a nécessité 59 % moins d'heures de travail sur le chantier en comparaison avec le même modèle fabriqué de façon conventionnelle (SBCA, 2015). La version canadienne de cette expérience est arrivée à une diminution de 28 % des coûts de main-d'œuvre (Houdek et Gibson, s.d.). Une diminution de 73 % du nombre de travailleurs sur le chantier est évoquée par Carlson (s.d.), mais il ne s'agit pas d'une donnée issue d'une démarche rigoureuse.

### 6.3 RÉDUCTION DES COÛTS D'OCCUPATION ET D'EXPLOITATION DU BÂTIMENT

#### 6.3.1 AUGMENTATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT

Tel que souligné dans le volet environnemental, l'augmentation de la qualité de construction peut améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment **modulaire**, se traduisant en des réductions d'environ 7 % à 25 % de la consommation d'énergie (Kim, 2008; Krug et Miles, 2013). Krug et Miles (2013) ont tenté de chiffrer les économies découlant de la réduction de consommation d'énergie dans des bâtiments préfabriqués en différents matériaux au Royaume-Uni. À l'aide des tarifs de gaz naturel et d'électricité, ils ont calculé que la réduction relative de consommation d'énergie d'une école construite en modules préfabriqués par rapport à la moyenne se traduit en une réduction relative semblable des coûts d'énergie.

### 6.4 AUTRES BÉNÉFICES

Les bénéfices économiques suivants que procure la construction préfabriquée sont également cités dans la littérature répertoriée, mais un nombre limité de publications robustes en fait mention. Une recherche plus approfondie serait nécessaire afin de mieux les documenter :

- **Dépassements de coûts** : seraient normalement moins nombreux que pour la construction conventionnelle, ce qui permettrait des coûts de construction plus prévisibles (MBI, 2016; Smith, 2015).
- **Santé et sécurité** : le travail en usine procurerait un milieu plus sécuritaire que les chantiers de construction, diminuant les accidents de travail (Julien et al., 2015; WoodWorks, 2014). Compte tenu des coûts associés aux arrêts de travail, la réduction du nombre d'accidents permettrait

donc d'alléger ceux-ci (Krug et Miles, 2013). Des études comparatives quantifiées sont nécessaires afin de documenter un tel bénéfice, d'autant plus que le nombre d'accidents dans l'industrie de la préfabrication est bien documenté aux États-Unis (Mirhardi, 2015). Sans en avoir chiffré les bénéfices économiques, Mortenson (2014) a estimé une réduction d'un accident par 21 500 heures de travail grâce à l'utilisation de panneaux et de composantes préfabriquées pour la construction d'un hôpital.

- **Pertes de matériaux sur le chantier** : la production en usine serait moins propice aux pertes de matériaux dues au vandalisme et au vol (Julien et al., 2015).
- **Résidus de construction** : les quantités de résidus de construction générés sur un chantier conventionnel, équivalentes en moyenne à 10 % des quantités totales de matériaux compris dans une construction, peuvent représenter 3 à 5 % du coût total de construction (Krug et Miles, 2013). Or, en réduisant les pertes de matériaux et en favorisant la récupération des résidus en usine, la préfabrication permet ainsi de réduire les coûts liés au gaspillage des ressources, à la gestion de résidus (ex. : coûts d'enfouissement) et au nettoyage du site.
- **Qualité** : la qualité des constructions préfabriquées est largement citée comme avantage dans la littérature sondée (Alazzaz et Whyte, 2014; Al-Hussein et al., 2009; Boafu, 2016; Cecobois, 2013; Homes for Scotland, 2015; Julien et al., 2015; NIBS, 2014; SCHL, 2015; Steinhardt et al., 2013; WoodWorks, 2014; Xu et Zhao, 2010). Cette affirmation est principalement basée sur un contrôle qualité plus facile en usine, principalement dans le cas de la construction modulaire où près de 95 % du bâtiment peut être construit en usine, contrairement à la construction par panneaux (Lopez et Froese, 2016). Cependant, aucune étude scientifique confirmant ce bienfait, par exemple en termes de diminution des défauts de construction, d'allongement de la durée de vie ou de diminution des coûts d'entretien, ainsi que de bénéfices économiques en découlant, n'a été répertoriée dans la littérature sondée.

## 6.5 SYNTHÈSE

En se basant sur les sondages effectués auprès de professionnels du bâtiment, il y a dans l'industrie un consensus selon lequel la préfabrication permet de réduire les coûts de construction. Toutefois, peu d'études en font la démonstration en employant une méthodologie rigoureuse et transparente.

De façon globale, la préfabrication permet d'accroître la productivité de l'industrie de la construction. Le raccourcissement du temps de construction semble être le facteur le plus important dans la réduction des coûts. Cet avantage permet au constructeur d'engranger des revenus plus rapidement et de payer moins de frais d'intérêts sur ses emprunts. De nombreuses études soulignent le fait qu'une construction plus courte peut signifier des revenus d'occupation plus rapides qui compenseraient des coûts de construction préfabriquée parfois plus élevés. D'autre part, un échéancier plus prévisible peut procurer un avantage concurrentiel au constructeur. Sur le chantier, des délais plus courts signifient généralement moins de frais d'entreposage et de location d'équipement, ainsi qu'une réduction des coûts de main-d'œuvre par une diminution des heures de travail.

Dans un contexte de main-d'œuvre dispendieuse, la préfabrication allègerait aussi les coûts grâce à l'automatisation et par un moins grand besoin en travailleurs spécialisés.

D'autres bénéfices économiques sont ressortis de l'analyse de la littérature, mais étaient peu prouvés. En particulier, la diminution des coûts lors de l'occupation et de l'exploitation du bâtiment grâce à une plus grande qualité de construction (augmentation de l'efficacité énergétique par une plus

grande étanchéité, réduction des défauts de fabrication) est difficile à mesurer, car elle a lieu sur une longue période de temps. Enfin, les gains monétaires en santé et sécurité, par une diminution des arrêts de travail, sont peu chiffrés et peu appuyés par des études rigoureuses.

Enfin, dans certains cas, la préfabrication peut s'avérer plus coûteuse que les techniques conventionnelles, notamment dans le cas du bois d'ingénierie. Le tableau ci-dessous présente des conditions favorisant la réalisation des bénéfices économiques liés à la préfabrication qui ont été prises de la littérature.

**Tableau 6.1 : Conditions favorables aux bénéfices économiques de la préfabrication**

Facteurs	Conditions favorables
<b>Distance de transport</b>	Proximité de l'usine de préfabrication au site de construction (Julien et al., 2015)
<b>Main-d'œuvre</b>	Contexte de pénuries de main-d'œuvre pour la construction sur chantier (Bled et al., 2018; Homes for Scotland, 2015; Julien et al., 2015)
<b>Temps de construction et vocation du bâtiment</b>	Bâtiment commercial pour lequel l'exploitation génère des sources de revenus importantes (par exemple, un aéroport) et où des interruptions plus courtes occasionnées par la construction sont à l'avantage de l'exploitant (Krug et Miles, 2013)

## 7. OBSTACLES ET DÉFIS

---

Cette section vise à effectuer un survol des obstacles et des défis généraux de la préfabrication recensés dans la littérature.

Tout d'abord, à l'échelle mondiale, le manque de connaissances des techniques de construction préfabriquée, de même que l'accès limité à de la main-d'œuvre spécialisée en la matière constituent les principaux obstacles à l'adoption de la préfabrication évoqués par l'industrie, particulièrement pour les projets de grande envergure (MBI, 2016; SCHL, 2013; Timetric, 2014). Bien que la préfabrication ait gagné beaucoup de terrain depuis, en 2011, la résistance au changement face à l'utilisation de nouvelles pratiques était évoquée pour expliquer en partie le fait que beaucoup de professionnels de la construction nord-américains n'utilisaient pas de systèmes préfabriqués (Julien et al., 2015). L'image d'une technique « bas de gamme » persiste chez certains (OAO, 2011). De plus, la normalisation du processus de construction rend plus difficile d'offrir des produits préfabriqués personnalisés (Bled et al., 2018; Steinhardt et al., 2013).

La préfabrication nécessite généralement un **investissement en capital important**. Pour cette raison, le volume de production à l'usine de préfabrication doit être élevé pour assurer la rentabilité de l'entreprise de préfabrication, surtout lorsque le niveau d'automatisation à l'usine est élevé (Bled et al., 2018; Julien et al., 2015).

De plus, la distance séparant l'usine de préfabrication du chantier de construction peut entraîner des coûts de transport substantiels, particulièrement en région éloignée. Pour le cas précis de la construction modulaire, des contraintes additionnelles s'imposent lors de la livraison des modules au chantier de construction en fonction de la taille et du poids des modules, contribuant ainsi à augmenter les frais de transport (Julien et al., 2015; Schoenborn, 2012). Cette problématique est particulièrement présente dans de grandes villes comme Hong Kong (Jaillon et al., 2009).

Enfin, bien que le temps de construction puisse être réduit de façon significative, la construction préfabriquée requiert généralement plus de temps de planification en amont de l'étape de construction (Kamali, 2016; MBI, 2016). Ce temps permet d'éliminer les imprévus lorsque la construction débute. À cet égard, le *Modular Building Institute* (2016) rapporte que la construction d'un immeuble à logements de 200 unités requiert typiquement environ quatre mois de plus en délai de livraison dû à une planification plus longue. De plus, le résultat d'un sondage mené aux États-Unis par le *Off-Site Council du National Institute of Building Sciences* (2014) illustre bien la complexité de la planification d'une construction préfabrication, 78 % des répondants de l'industrie de la construction estimant qu'un niveau de collaboration modérément à significativement supérieur entre les acteurs soit requis. Cette particularité de la préfabrication est un obstacle dans un contexte de mode de gestion de projets traditionnel, c'est-à-dire de type design-soumission-construction, dans lequel les manufacturiers ne sont habituellement pas impliqués dans les premières étapes d'un projet. Des entreprises pallient cette contrainte en adoptant une approche dite *design-build* intégrant les étapes de la conception à la construction en une même entreprise, dont plus en plus de cours à bois aux États-Unis (Bled et al., 2018).



Image : QWEB

## 8. LIMITES ET ÉLÉMENTS À APPROFONDIR

Après avoir présenté les avantages, bénéfices et défis de la préfabrication, cette section regroupe les limites de la littérature analysée, ainsi que les éléments pour lesquels de la recherche ou des analyses plus poussées sont requises. De façon générale, l'évaluation des bénéfices environnementaux et économiques reliés à la construction préfabriquée est limitée par le **manque de données primaires**. En effet, plusieurs des bénéfices cités dans les références consultées sont présentés de façon qualitative. Dans le cas d'études où les bénéfices de la préfabrication ont été quantifiés, la base de comparaison, c'est-à-dire le scénario de construction conventionnelle, n'est pas toujours bien définie, ce qui limite l'analyse des facteurs à la source de ces bénéfices.

Afin d'identifier plus précisément les besoins de données, une évaluation globale de leur qualité a été effectuée dans les tableaux 8.1 et 8.2. Dans chacun, les bénéfices environnementaux et économiques sont cotés par rapport à la construction conventionnelle à l'aide de couleurs : vert pour une réduction des impacts environnementaux ou des coûts, jaune pour une réduction faible ou nulle et rouge pour une augmentation des impacts environnementaux ou des coûts. Les bénéfices pour lesquels il manque des données sont cotés en hachuré.

En matière de bénéfices environnementaux, le tableau 8.1 indique que la construction modulaire est le type de préfabrication le mieux documenté. De façon général, les aspects les moins documentés sont le **choix des matériaux**, les **dommages sur l'environnement local**, la **gestion des résidus de construction**, les effets sur la **durée de vie** du bâtiment et les **résidus de démantèlement**. Le bois d'ingénierie est la préfabrication la moins documentée pour les aspects environnementaux. Bien que la quantité de matériaux utilisés soit un aspect assez bien couvert, les effets de la préfabrication sur les matériaux utilisés pour des fins non structurales (ex. plomberie, filage, isolation, céramique, etc.) n'ont pas été étudiés.

Sur le plan des bénéfices environnementaux lors de l'occupation et de l'exploitation du bâtiment, peu d'études ont évalué l'influence de la construction préfabriquée sur l'**étanchéité du bâtiment**, notamment en lien avec la qualité d'assemblage, et les économies en chauffage qui en découleraient, particulièrement dans un contexte canadien. Compte tenu que l'étape d'occupation et d'exploitation du bâtiment constitue le principal contributeur à ses émissions de GES, cette information permettrait d'estimer des réductions potentiellement importantes par rapport au cycle de vie du bâtiment. Il serait envisageable d'utiliser des données de tests d'infiltrométrie ou de thermographie infrarouge effectués dans le cadre de certifications écoénergétiques afin de comparer la performance d'habitations préfabriquées (ex. Novoclimat et Energy Star). Notons que les conséquences potentielles néfastes d'une étanchéité élevée des bâtiments sur la santé publique sont à surveiller (Lajoie et al., 2007).

Plus spécifiquement à propos du bois d'ingénierie, celui-ci est souvent comparé à d'autres matériaux comme le béton et l'acier. Ce genre de comparaison, qui tente de quantifier les bénéfices indirects de la préfabrication quant au **choix des matériaux**, posent certains défis méthodologiques qui doivent être approfondis.



**Tableau 8.1 : Résumé des bénéfices environnementaux de la préfabrication et qualité des données**

Étapes du cycle de vie	Paramètres	Possibilité de bénéfices environnementaux		
		Modules	Panneaux	Bois d'ing.
<b>Production des matériaux</b>	Choix des matériaux (ex. : CLT vs. béton)	○	●	●
	Utilisation des matériaux (quantité) <sup>8</sup>	●	●	●
<b>Construction</b>	Transport des employés <sup>9</sup>	●	●	●
	Chauffage <sup>10</sup>	●	○	○
	Utilisation de machinerie (cons. d'énergie)	●	○	○
	Dommages sur l'environnement local	●	●	●
	Résidus de construction (quantité)	●	●	○
	Résidus de construction (gestion)	●	●	●
	<b>Occupation et exploitation</b>	Efficacité énergétique	●	●
Durée de vie (qualité)	○	○	○	
Durée de vie (adaptabilité)	●	○	○	
<b>Fin de vie</b>	Résidus de démantèlement (quantité)	●	●	●
	Résidus de démantèlement (gestion)	○	○	○

**Légende :**

- Bénéfice potentiel
- Bénéfice potentiel faible ou nul
- Pertes/impacts potentiels
- Données supplémentaires requises
- Aucune donnée disponible

<sup>8</sup> L'utilisation de bois d'ingénierie pour de petites constructions représente une utilisation intensive de matériaux. La préfabrication modulaire dédouble certains éléments de charpente.

<sup>9</sup> Sensible à la proximité des travailleurs de l'usine de préfabrication et du chantier.

<sup>10</sup> Les émissions dues au chauffage de chantier sont faibles par rapport au cycle de vie d'un bâtiment.

En matière de **résidus de construction**, bien que la majorité des études consultées indiquent que le recours à la préfabrication permet de réduire la quantité de résidus générés lors de l'étape de construction par opposition à un chantier de construction conventionnel, très peu de ces études font état de la situation au Canada. Au-delà du manque de connaissance du contexte canadien, la question plus globale de l'influence de la préfabrication sur la quantité de résidus générés par les bâtiments doit être analysée avec une **approche « cycle de vie »**. Cela a pour but de tenir compte d'une possible utilisation accrue de matériaux dans la construction préfabriquée, matériaux qui deviendront des résidus à la fin de vie du bâtiment. D'ailleurs, le concept de **construction adaptable** (*design for adaptability*) permettrait de retarder la fin de vie ultime de constructions modulaires. Ce concept intéressant mérite d'être approfondi en termes de bénéfices environnementaux et économiques.

En ce qui a trait aux **bénéfices économiques** (tableau 8.2), très peu d'études recensées présentent des données canadiennes sur les coûts de construction liés à l'utilisation de la préfabrication. Les bénéfices en lien avec, notamment, la **gestion de projet** (diminution potentielle des dépassements de coûts due entre autres à une planification accrue en amont de la construction et revenus locatifs plus rapides), **l'économie d'échelle** (ex. achat de gros de matériaux) le **traitement des résidus de construction** sont peu étayés. D'autre part, les analyses économiques recensées se basent principalement sur l'étape de construction et ne comptabilisent pas, ou peu, les **coûts liés aux étapes de conception du bâtiment** (généralement plus longue pour la préfabrication), les **dépenses d'immobilisation**, les **coûts d'occupation et d'exploitation en lien avec la qualité de construction** (ex. diminution des coûts liés au chauffage du bâtiment, diminution des coûts d'entretien, allongement de la durée de vie du bâtiment), ainsi que **les coûts de fin de vie du bâtiment** (démantèlement), et excluent certains **coûts indirects** (ex. coûts liés aux accidents de travail). Il y aurait avantage à approfondir ces données économiques afin de capter l'ensemble des coûts affectés sur le cycle de vie du bâtiment. Enfin, plusieurs régions du monde s'étant dotées de **politiques favorisant la préfabrication**, une analyse plus poussée de celles-ci pourrait aider à mieux définir les conditions favorables à cette technique de construction.

À la suite de cette évaluation globale de la qualité des données, le tableau 8.3 résume les principaux points à approfondir pour une comparaison plus précise entre la construction préfabriquée et la construction conventionnelle dans un contexte québécois. La collecte d'information pourrait s'étendre davantage afin d'établir des recommandations sur les projets de construction et les régions se prêtant le mieux à la préfabrication selon des paramètres précis comme le type et l'échelle du projet, le modèle et les outils de gestion de projet (mode design-soumission-construction vs. design-construction ou *design-build*, partage d'information à l'aide du BIM<sup>11</sup>), l'investissement en capital (ex. selon le degré d'automatisation de l'usine de préfabrication), ainsi que les coûts de main-d'œuvre (ex. chantier conventionnel syndiqué ou non), de matériaux, de transport (ex. présence de cours à bois près des chantiers) et de chauffage (lors de l'occupation et de l'exploitation).

---

<sup>11</sup> *Building Information Modeling*

**Tableau 8.2 : Résumé des bénéfices économiques de la préfabrication et qualité des données**

Étapes du cycle de vie	Paramètres	Possibilité de bénéfices économiques		
		Modules	Panneaux	Bois d'ing.
<b>Production des matériaux</b>	Coût d'achat des matériaux <sup>12</sup>			
<b>Construction</b>	Coût de conception			
	Coût de transport de matériaux <sup>13</sup>			
	Coût gestion des matière résiduelles			
	Coût de la main-d'œuvre <sup>14</sup>			
	Coût associé aux arrêts de travail			
	Coût de financement de la construction			
<b>Occupation et exploitation</b>	Revenus de location			
	Coût de chauffage			
	Coût de réaménagement de locaux (adaptabilité)			
	Durée de vie			
<b>Fin de vie</b>	Coût de démantèlement			
	Revenus de la revente de matériaux récupérés			

Légende :

- Bénéfice potentiel
- Bénéfice potentiel faible ou nul
- Pertes/impacts potentiels
- Données supplémentaires requises
- Aucune donnée disponible

<sup>12</sup> Bien que des études existent pour les panneaux et les modules, il s'agit de cas très précis, difficilement généralisables.

<sup>13</sup> Sensible à la proximité de l'usine de préfabrication et du chantier.

<sup>14</sup> Les économies liées à la main-d'œuvre sont surtout associées à un temps de chantier plus court.



Tableau 8.3 : Données à approfondir

Bénéfices potentiels	Données à collecter ou études suggérées
<b>Aspect environnemental</b>	
Augmentation de l'efficacité énergétique par une meilleure étanchéité	Consommation d'énergie de logements préfabriqués, résultats de tests d'infiltrométrie ou de thermographie infrarouge
Réduction des résidus de construction dans un contexte canadien	Quantités de résidus de construction générés
Diminution des résidus générés sur le cycle de vie d'un bâtiment : compte tenu de l'utilisation semblable ou accrue de matériaux dans la construction préfabriquée, l'étude des impacts de la préfabrication sur la génération de résidus des bâtiments doit utiliser une approche cycle de vie afin de tenir compte de la fin de vie du bâtiment	Quantités de résidus de construction générés Quantités de résidus lors de la déconstruction ou du démantèlement
Diminution d'impacts environnementaux (ex. GES) liés au choix des matériaux (ex. CLT vs. béton conventionnel)	Analyse de cycle de vie de bâtiments
Augmentation de la durée de vie d'un bâtiment modulaire grâce à la construction adaptable	Durée de vie de bâtiments modulaires adaptables
<b>Aspect économique</b>	
Diminution des coûts du cycle de vie d'un bâtiment (incl. conception, occupation et exploitation)	Coûts du cycle de vie d'un bâtiment (de la conception à la fin de vie)
Réduction des dépassements de coûts de construction notamment grâce à une planification accrue en amont	Statistiques de dépassements de coûts de projets de construction
Diminution des coûts liés aux accidents de travail	Statistiques d'arrêts de travail
Diminution des coûts de gestion des résidus de construction	Coûts de gestion de résidus de construction générés
Diminution des coûts de chauffage par une meilleure étanchéité	Données sur les impacts de la préfabrication sur l'étanchéité et le chauffage
Allongement de la durée de vie par une meilleure qualité de construction ou grâce à la construction adaptable	Durée de vie de bâtiments Coûts de construction
Diminution des coûts d'entretien par une meilleure qualité de construction	Coûts d'entretien

## 9. CONCLUSIONS

---

Cette étude avait deux objectifs principaux. D'abord, elle a servi à bien documenter les bénéfices environnementaux et économiques que procure le recours à la construction préfabriquée. À l'aide de cette documentation, des besoins en termes de récolte de données et de recherche plus poussée dans le domaine de la construction préfabriquée ont été identifiés, constituant



ainsi le deuxième objectif de l'étude. Les auteurs ont pris soins de distinguer les avantages de la construction préfabriquée, de nature technique et opérationnelle, des bénéfices environnementaux et économiques qui en résultent. À ce titre, **les avantages les plus communément rencontrés dans la littérature sont les suivants : réduction du temps de construction, amélioration de la qualité de construction et une gestion plus efficace de la main-d'œuvre.** Cependant, il apparaît que l'impact de la préfabrication sur **le temps de construction est le facteur qui génère le plus de bénéfices environnementaux et économiques** documentés, que ce soit en termes d'émissions de GES ou de coûts de construction.

Cependant, il existe **peu d'avantages ou de bénéfices faisant consensus dans la littérature**, plusieurs facteurs pouvant rendre la construction préfabriquée non avantageuse. Plusieurs études peuvent donc arriver à des conclusions différentes selon la géographie et le type de préfabrication utilisée. Cela est un constat valide pour le volet environnemental et le volet économique. Les méthodes utilisées dans la plupart des études ne reposent pas sur des données quantitatives de qualité et souvent font appel à la perception des acteurs du milieu.

La fabrication en usine est certainement plus efficace que les procédés de chantier. Cependant, **des conditions favorables doivent être réunies pour que la préfabrication constitue le bon choix**, notamment un volume de production élevé, une main-d'œuvre formée en préfabrication, ainsi que de courtes distances de transport. Sans être une innovation de rupture, qui rendra les techniques classiques en place obsolètes, la construction préfabriquée constitue un pas de plus vers une plus grande industrialisation du secteur de la construction, générant des bénéfices non négligeables, mais insuffisants pour convaincre les acteurs du milieu de l'adopter en masse.

Les bénéfices économiques attendus d'une telle industrialisation, comme l'augmentation de la productivité et la réduction des coûts de construction, peuvent être en adéquation avec les attentes en termes de bénéfices environnementaux. Bien que l'on assiste à certains bénéfices en matière d'émissions GES et de résidus lors de la construction, ceux-ci sont vraisemblablement faibles en comparaison au cycle de vie d'un bâtiment. Par conséquent, on peut s'attendre qu'une augmentation de l'activité du secteur de la construction grâce à la préfabrication vienne annuler ces améliorations. Dans ce contexte, les bénéfices environnementaux potentiels de la préfabrication en termes d'efficacité énergétique semblent d'une grande importance, d'où la pertinence de mieux les quantifier.

## RÉFÉRENCES

---

- ALAZZAZ, Faisal et Andrew WHYTE. «Uptake of Off-site Construction: Benefit and Future Application», *International Journal of Civil, Environmental, Structural, Construction and Architectural Engineering*, vol. 8, no 12, 2014, p.1219-1223.
- AL-HUSSEIN, Mohamed, et autres. « North Ridge CO2 Analysis Report Comparison between Modular and On-Site Construction », University of Alberta, Canada, 2009, tiré du site <http://www.modular.org/IMAGES/foundation/NorthRidgeCO2Report.pdf>, consulté le 6 mars 2018.
- AYE, Lu, et autres. « Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules », *Energy and Buildings*, vol. 47, p.159-168, avril 2012, tiré du site <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811005950>, consulté le 20 mars 2018.
- BLED, Aristide, et autres. « Étude sur les matériaux, processus, systèmes de construction et concepts novateurs », Québec Wood Export Bureau, Canada, 2018.
- BOAFO, Fred Edmond, et autres. Performance of Modular Prefabricated Architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways. *Sustainability*, vol.8 (558), juin 2016.
- BURBACK, Brad, et PEI, Shiling. « Cross-Laminated Timber for Single-Family Residential Construction: Comparative Cost Study », *J. Archit. Eng.*, vol. 23(3), 2017.
- CECOBOIS. *Les bâtiments commerciaux préfabriqués à ossature légère de bois*, 2011, tiré du site [https://www.cecobois.com/publications\\_documents/CECO-1731\\_Fiche\\_Batiments\\_Prefabrique\\_WEB.pdf](https://www.cecobois.com/publications_documents/CECO-1731_Fiche_Batiments_Prefabrique_WEB.pdf), consulté le 20 mars 2018
- CECOBOIS. *Guide technique sur la construction modulaire en bois*, 2013, tiré du site [https://www.cecobois.com/publications\\_documents/CECO-3873\\_Guide\\_Construction\\_Modulaire\\_LR08.pdf](https://www.cecobois.com/publications_documents/CECO-3873_Guide_Construction_Modulaire_LR08.pdf), consulté le 20 mars 2018
- CECOBOIS. « Déconstruire les mythes », s.d., tiré de <https://www.cecobois.com/deconstruire-les-mythes>
- CHAYER, Julie-Anne. « Les impacts environnementaux d'un bâtiment et les outils pour les évaluer », 2018, tiré de [http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/documents/SHQ/colloque\\_gestionnaire\\_technique/2017/CGT-2018-10-impacts-environnement-batiments.pdf](http://www.habitation.gouv.qc.ca/fileadmin/internet/documents/SHQ/colloque_gestionnaire_technique/2017/CGT-2018-10-impacts-environnement-batiments.pdf)
- CHINA DAILY. « Government turns to prefab buildings to save resources », 2016, tiré de [http://www.chinadaily.com.cn/china/2016-10/01/content\\_26956827.htm](http://www.chinadaily.com.cn/china/2016-10/01/content_26956827.htm)
- CUÉLLAR-FRANCA, R. et A. AZAPAGIC. « Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses », *Building and Environment* (54), 2012, p.86-99, tiré de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.02.005>.
- DUNN, Andrew. « Final Report for Commercial Building Costing Cases Studies – Traditional Design versus Timber Project », 2015, tiré de <http://makeitwood.org/documents/doc-1344-the-economic-case-for-timber---andrew-dunn.pdf>

- ÉCOHABITATION. *Étude d'impact environnemental d'un kit de construction modulaire pour l'exportation*, 31 octobre 2014, tiré de <http://www.quebecwoodexport.com/images/stories/pdf/CarbonStudyFR.pdf>
- ÉCOHABITATION. *Murs préfabriqués : les « pour » et les « contre »*, 2011, tiré de <http://www.ecohabitation.com/actualite/nouvelles/murs-prefabriques-contre>
- FALK, Andreas. « Cross-laminated timber: driving forces and innovation », (2013). *International Conference on Structures and Architecture ICSA*, juillet 2013, tiré de [https://www.researchgate.net/publication/265054157\\_Cross-laminated\\_timber\\_driving\\_forces\\_and\\_innovation](https://www.researchgate.net/publication/265054157_Cross-laminated_timber_driving_forces_and_innovation).
- FARD, Maryam Mirhadi, et autres. « Safety concerns related to modular/prefabricated building construction », *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, juin 2015.
- GCCDS (Gulf Coast Community Design Studio). *Alternative Construction Research Guide*, s.d., tiré de [http://gccds.msstate.edu/research/altconstruction/whole%20document/AlternativeConstructionResearchGuide\\_GCCDS\\_no\\_ch5.pdf](http://gccds.msstate.edu/research/altconstruction/whole%20document/AlternativeConstructionResearchGuide_GCCDS_no_ch5.pdf)
- GREEN, Perry et James L. RYAN. « Steelwise modular mindset », *Modern steel construction*, juillet 2014, tiré de <https://www.aisc.org/globalassets/modern-steel/steelwise/steelwise-july-2014.pdf>, consulté le 13 avril 2018.
- HOMES FOR SCOTLAND. *Research into Mainstreaming Offsite Modern Methods of Construction (MMC) in House Building*, tiré du site <http://www.forestryscotland.com/media/309840/scottish%20offsite-mmc-report.pdf>, consulté le 21 mars 2018.
- HOUDEK, Dalibor et Rhonda L. GIBSON. *Build Alberta Framing the Future - An Economic Impact Analysis of Stick Framed vs. Panelized Home Construction Methods through Case Study Analysis*, tiré du site [http://www.solutionsforwood.ca/\\_docs/reports/BuildAlbertaBrochurefinal.pdf](http://www.solutionsforwood.ca/_docs/reports/BuildAlbertaBrochurefinal.pdf), consulté le 15 mars 2018.
- INDUSTRIE CANADA. *Préfabrication de bâtiments en bois (321992) - Réseau des entreprises canadiennes - Innovation, Sciences et Développement économique Canada*, 2017a, tiré de <http://www.ic.gc.ca/app/ccc/sld/cmpny.do?lang=fr&profileId=1921&naics=321992>
- INDUSTRIE CANADA. *Préfabrication de bâtiments en métal et de leurs composants (332311) - Réseau des entreprises canadiennes - Innovation, Sciences et Développement économique Canada*, 2017b, tiré de <http://www.ic.gc.ca/app/ccc/sld/cmpny.do?lang=fr&profileId=1921&naics=332311>
- INDUSTRIE CANADA. *Fabrication de produits de charpente en bois (321215) - Réseau des entreprises canadiennes - Innovation, Sciences et Développement économique Canada*, 2017c, tiré de <http://www.ic.gc.ca/app/ccc/sld/cmpny.do?lang=fr&profileId=1921&naics=321215>
- JAILLON, L. et autres. « Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong », *Waste Management*, vol. 29, 2009, p. 309-320.

- JAILLON, L. et C. S. POON. « Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study », *Construction Management and Economics*, vol. 29(9), 2008, p. 953-966.
- JULIEN, François, et autres. « Compétitivité et opportunités pour l'industrie québécoise des bâtiments préfabriqués », *FPInnovations*, rapport préparé pour la Société d'habitation du Québec (SHQ), 30 octobre 2015.
- KAMALI, Mohammad, et Kasun HEWAGE. « Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods », *Journal of Cleaner Production*, octobre 2016.
- KIM, Doyoon. « Preliminary Life Cycle Analysis of Modular and Conventional Housing in Benton Harbor, Michigan », *Center for sustainable systems (Université du Michigan)*, avril 2008, tiré du site <https://deepblue.lib.umich.edu/handle/2027.42/58212>, consulté le 21 mars 2018.
- KREMER, P.D. et M.A. SYMMONS. « Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: a PESTEL evaluation of the potential », *International Wood Products Journal*, 2015, vol. 6, numéro 3, p. 138-147, doi: 10.1179/2042645315Y.0000000010
- KRUG, Daniela et John MILES. « Offsite construction: Sustainability Characteristics », *Buildoffsite*, juin 2013, tiré du site [https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS\\_offsiteconstruction\\_1307091.pdf](https://www.buildoffsite.com/content/uploads/2015/03/BoS_offsiteconstruction_1307091.pdf), consulté le 12 mars 2018.
- LAWSON, R.M. et R.G. OGDEN. « Sustainability and Process Benefits of Modular Construction », *18th CIB World Building Congress*, mai 2010, tiré du site <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB18783.pdf>, consulté le 16 mars 2018.
- LEHMANN, Steffen. « Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions », *Sustainable Cities and Society*, 2013, vol. 6, numéro 6, p. 57-67, doi: 10.1016/j.scs.2012.08.004
- LAJOIE, Pierre, Jean-Marc LECLERC et Marion SCHNEBELEN. « La ventilation des bâtiments d'habitation : impacts sur la santé respiratoire des occupants », Institut national de santé publique du Québec, 2007, tiré de <https://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/559-VentilationBatimentsHabitation-Feuillet.pdf>
- LOPEZ, D. et T. FROESE. « Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes », *Procedia Engineering*, 2016, vol. 145, p. 1291-1297.
- LU W. et H. YUAN. « Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction ». *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. vol. 28, 2013, p. 804-811.
- LUCON, O., et autres. « Buildings. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change », Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York.
- MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. « Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry », *SmartMarket Report*, 2011, tiré du site

<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/economics/Prefabrication-Modularization-in-the-Construction-Industry-SMR-2011R.pdf>, consulté le 21 mars 2018.

MODULAR BUILDING INSTITUTE. « Modular advantage for the commercial modular construction industry - Multifamily market on the rise », *Modular Institute Building Institute's Quarterly Publication*, février 2016, tiré du site [http://www.modular.org/documents/Modular\\_Advantage/ModularAdvantage\\_Pub\\_1-Q\\_DIGITAL.pdf?amp;utm\\_source=MA-1Q-2016&utm\\_medium=thumbnail&utm\\_campaign=ModAdv2016](http://www.modular.org/documents/Modular_Advantage/ModularAdvantage_Pub_1-Q_DIGITAL.pdf?amp;utm_source=MA-1Q-2016&utm_medium=thumbnail&utm_campaign=ModAdv2016), consulté le 20 mars 2018.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (OFF-SITE CONSTRUCTION COUNCIL). *Report of the Results of the 2014 Off-Site Construction Industry Survey*, tiré du site [https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/OSCC/NIBS\\_OSCC\\_2014Survey.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/OSCC/NIBS_OSCC_2014Survey.pdf), consulté le 22 mars 2018.

ORDRE DES ARCHITECTES DU QUÉBEC (OAQ), « Prêt à construire – Tendances et défis », *Esquisses*, vol. 22, p. 804-811, 2013, tiré du site [https://www.oaq.com/esquisses/archives\\_en\\_html/le\\_prefabrique\\_pour\\_les\\_pros/dossier/pret\\_a\\_construire.html](https://www.oaq.com/esquisses/archives_en_html/le_prefabrique_pour_les_pros/dossier/pret_a_construire.html), consulté le 13 avril 2018.

OLIVIER, J.G.J., et autres. « Trends in Global CO2 emissions: 2016 report », rapport commandité par l'Agence d'évaluation environnementale néerlandaise (PBL) et la Commission européenne, La Haye, 2016, 86 p., tiré de [http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news\\_docs/jrc-2016-trends-in-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf](http://edgar.jrc.ec.europa.eu/news_docs/jrc-2016-trends-in-global-co2-emissions-2016-report-103425.pdf)

QUALE, John, et autres. « Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States », *Journal of industrial ecology*, vol. 16, no.2, p.243-253, mars 2012, tiré du site <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2011.00424.x#citeby-section>, consulté le 22 mars 2018.

QWEB. Prefabricated light wood frame roof truss – Environmental product declaration, 2017, tiré de [http://www.quebecwoodexport.com/images/stories/pdf/QWEB\\_EPD\\_RoofTruss.pdf](http://www.quebecwoodexport.com/images/stories/pdf/QWEB_EPD_RoofTruss.pdf)

RAMAGE, M.H., BURRIDGE, H. et autres. « The wood from the trees: The use of timber in construction », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, vol. 68, p. 333–359.

RECYC-QUÉBE. Bilan 2015 de la gestion des matières résiduelles au Québec, Québec, 2017, 39 p., tiré de <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2015.pdf>

ROULEAU, J., L., GOSSELIN et P. BLANCHET. « Understanding energy consumption in high-performance social housing buildings: A case study from Canada », *Energy*, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2017.12.107.

SCHOENBORN, J.M. « A Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction ». Thèse de maîtrise, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia, 27 April 2012, tiré du site <https://theses.lib.vt.edu/theses/available/etd-05082012-010848/>, consulté le 19 mars 2018.

SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT. « Logements et collectivités durables – les habitations industrialisées », *L'Observateur du logement au Canada*, 2013, tiré du site [https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/clfihaclin/observateur/upload/chapter\\_7\\_68004\\_w\\_acc.pdf](https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/clfihaclin/observateur/upload/chapter_7_68004_w_acc.pdf), consulté le 26 mars 2018.

- SOCIÉTÉ CANADIENNE D'HYPOTHÈQUES ET DE LOGEMENT. *Classiques de l'Observateur : Logements et collectivités durables – les habitations industrialisées*, 2015, tiré du site [https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/clfihaclin/observateur/observateur\\_023.cfm](https://www.cmhc-schl.gc.ca/fr/clfihaclin/observateur/observateur_023.cfm), consulté le 26 mars 2018.
- SMITH, Ryan. « Prefab architecture - A guide to modular design and construction », John Wiley & Sons Inc., Hoboken, New Jersey, 2011.
- SMITH, Ryan. « Permanent modular construction - Process, practice, performance », University of Utah and the Modular Building Institute Educational Foundations, *Off-site studies*, avril 2015, tiré du site <https://www.bdcuniversity.com/permanent-modular-construction-process-practice-performance>, consulté le 23 mars 2018.
- STEINHARDT, Dale A., et autres. « What's driving the uptake of prefabricated housing in Australia? », School of Civil Engineering and Built Environment, Queensland University of Technology, octobre 2013, tiré du site [https://eprints.qut.edu.au/81178/1/QUT-Housing-Project-Industry-Paper-3-web-final\\_D788.pdf](https://eprints.qut.edu.au/81178/1/QUT-Housing-Project-Industry-Paper-3-web-final_D788.pdf), consulté le 16 mars 2018.
- TIMETRIC. *Prefabrication Trends and Future Outlook in the Construction Industry*, octobre 2014, tiré du site <https://www.timetricreports.com/report/cn4230pr--prefabrication-trends-and-future-outlook-in-the-construction-industry/>, consulté le 18 mars 2018.
- USG. « Commercial Construction Index – 2018 Q1 », 2018, tiré du site [https://www.uschamber.com/sites/default/files/q1\\_2018\\_cci\\_2-28\\_final.pdf](https://www.uschamber.com/sites/default/files/q1_2018_cci_2-28_final.pdf), consulté le 22 mars 2018.
- WOOD WORKS (WOOD PRODUCTS COUNCIL). *Putting the Pieces Together*, tiré du site [http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/prefab-modular\\_case\\_study.pdf](http://www.woodworks.org/wp-content/uploads/prefab-modular_case_study.pdf), 2014, consulté le 21 mars 2018.
- WRAP[a] (Wood & Resources Action Programme). *Waste Minimisation through Offsite Timber Frame Construction*, s.d., Royaume-Uni.
- WRAP[b] (Wood & Resources Action Programme). *Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction*, s.d., Royaume-Uni.
- XU, Xin et Yao ZHAO. *Some Economic Facts of the Prefabricated Housing*. Department of Supply Chain Management and Marketing Sciences, Newark (NJ), janvier 2010, tiré du site <http://zhao.rutgers.edu/Xu-Zhao-10-01-12.pdf>, consulté le 16 mars 2018.
- YATES, Megan, Matt LINEGAR et Bruno DUJIC. « Design of an 8 storey Residential Tower from KLH Cross Laminated Solid Timber Panels », 2008, tiré de [http://support.sbcindustry.com/Archive/2008/june/Paper\\_299.pdf](http://support.sbcindustry.com/Archive/2008/june/Paper_299.pdf)
- ZHAI, Xiaolin, Richard REED et Anthony MILLS. « Embracing off-site innovation in construction in China to enhance a sustainable built environment in urban housing », *International Journal of Construction Management*, 2014, tiré du site <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15623599.2014.922727?queryID=%24%7BresultBean.queryID%7D>

## **ANNEXE A**

### **PUBLICATIONS ANALYSÉES**

---



## PUBLICATIONS ANALYSÉES

La présente section contient la recension des publications répertoriées pour documenter les avantages et bénéfices de la préfabrication. Les études sont présentées sous forme de tableau décrivant pour chacune les auteurs, la date, le titre, une courte description, la zone géographique concernée, le type de source, le type de préfabrication, le secteur industriel (résidentiel ou non résidentiel), ainsi que la pertinence de l'étude. Cette dernière est qualifiée à l'aide d'un des trois termes suivants : faible, moyenne ou élevée.

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Alazzaz et Whyte, 2014</b>	Uptake of Off-site Construction: Benefit and Future Application	Revue de littérature sur les avantages de la préfabrication.	Global (UK, Australie)	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non précisé	Moyenne
<b>Al-Hussein, 2009</b>	North Ridge CO2 Analysis Report Comparison between Modular and On-Site Construction	Comparaison des émissions GES pour la phase de construction entre un bâtiment modulaire et un bâtiment conventionnel.	Alberta, Canada	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Moyenne
<b>Altaf, 2014</b>	Wood-Frame Wall Panel Sequencing Based on Discrete-Event Simulation and Particle Swarm Optimization	Présentation d'un modèle mathématique visant à améliorer la performance de la construction en usine de panneaux de bois.	Amérique du Nord	Étude scientifique	Panneaux	Non précisé	Faible
<b>Anton, 2017</b>	Benefits of offsite building	Court argumentaire en faveur de la préfabrication.	États-Unis	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>Arif, 2010</b>	Making a case for offsite construction in China	Présentation des enjeux liés au logement et à la construction en Chine et opportunités pour le recours à la préfabrication.	Chine	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne
<b>Aye, 2012</b>	Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules	Comparaison des émissions GES pour 3 scénarios de construction modulaire (structure en acier, en bois et en béton).	Australie	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Moyenne
<b>BC Housing, 2014 (p.20)</b>	Modular and Prefabricated Housing: Literature Scan of Ideas, Innovations, and Considerations to Improve Affordability, Efficiency, and Quality	Présentation générale de la préfabrication: définitions, pratiques de l'industrie, avantages et obstacles.	Colombie-Britannique, Canada	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Bled et al., 2018</b>	Étude sur les matériaux, processus, systèmes de construction et concepts novateurs	Étude mandatée par le QWEB ayant analysé les innovations de plus de 115 entreprises et produits de l'industrie de la construction résidentielle.	Amérique du Nord	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>BLISMAS, 2006</b>	Benefit evaluation for off-site production in construction	Évaluation et critique des méthodologies employées pour évaluer les bénéfices de la préfabrication.	Non spécifié	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>BLISMAS, 2007</b>	Off-site manufacture in Australia: Current state and future directions	Cas d'études de la préfabrication en Australie et présentation qualitative des avantages.	Australie	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Moyenne
<b>Boafo, 2016</b>	Performance of Modular Prefabricated Architecture: Case Study-Based Review and Future Pathways	Investigation de la performance d'un bâtiment modulaire (acoustique, résistance sismique, consommation énergétique) et de ses avantages basés sur revue de littérature.	Non spécifié	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non précisé	Moyenne
<b>Carlson, s.d.</b>	Wall Panels: Advantages Thereof	Court argumentaire en faveur des panneaux de murs.	États-Unis	Article de journal, magazine, non publié	Panneaux	Non précisé	Faible
<b>Cecobois, 2011</b>	Les bâtiments commerciaux préfabriqués à ossature légère de bois	Présentation des avantages de l'utilisation des systèmes préfabriqués à ossature légère de bois dans le secteur de la construction non résidentielle.	Québec	Rapport d'organisation	Panneaux	Non résidentiel	Moyenne
<b>Cecobois, 2012</b>	Guide technique sur les fermes de toits légères pour la construction commerciale	Guide technique afin d'assister les ingénieurs et les architectes dans la conception de toitures utilisant des fermes de toit légères en bois.	Québec	Rapport d'organisation	Bois d'ingénierie	Non précisé	Moyenne
<b>Cecobois, 2013</b>	Guide technique sur la construction modulaire en bois	Guide technique afin d'assister les ingénieurs et les architectes dans la conception de bâtiments modulaires.	Québec	Rapport d'organisation	Modulaire	Non précisé	Moyenne
<b>Cecobois, s.d.</b>	Déconstruire les mythes	Page web abordant les mythes du bois en matière d'isolation thermique et sonore, inflammabilité, résistance mécanique, recyclabilité, coûts et GES.	Québec	Page web	Bois d'ingénierie	Non résidentiel	Moyenne
<b>Colonna, 2011</b>	Prefabrication Case Study, Miami Valley Hospital Dayton, OH	Étude de cas de la construction modulaire d'un hôpital aux États-Unis.	États-Unis	Présentation	Modulaire	Non résidentiel	Faible

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Dassault, s.d.</b>	Prefabrication and industrialized construction	Présentation générale de la préfabrication et quelques exemples à l'appui.	Non spécifié	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>Derksen, 2015</b>	Offsite vs. Onsite – Understanding Value	Présentation très générale de la préfabrication et de ses avantages.	Non spécifié	Présentation	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>Dixon, 2007</b>	Wall Panels - Your customers' (and Your Business') Ticket to Added Value	Éditorial sur les avantages de l'utilisation de panneaux de murs préfabriqués.	États-Unis	Article de journal, magazine, non publié	Panneaux	Non précisé	Faible
<b>Dunn, 2015</b>	Final Report for Commercial Building Costing Cases Studies – Traditional Design versus Timber Project	Étude de coûts de quatre projets d'immeubles commerciaux et résidentiels pour chacun la version conventionnelle (béton et acier) est comparée à une version en bois (LVL, CLT, panneaux ou bois d'œuvre).	Australie	Rapport d'organisation	Bois d'ingénierie	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Écohabitation, 2011</b>	Murs préfabriqués: les « pour » et les « contre »	Quatre constructeurs livrent leurs opinions et perspectives sur les murs préfabriqués.	Québec	Page web	Panneaux	Non précisé	Faible
<b>Écohabitation, 2014</b>	Étude d'impact environnemental d'un kit de construction modulaire pour l'exportation	ACV d'une maison modulaire assemblée en Chine et transportée du Québec.	Québec, Chine	Rapport d'organisation	Modulaire	Résidentiel	Moyenne
<b>ELNASS, 2014</b>	The decision to use off-site manufacturing (OSM) systems for house building projects in the UK	Présentation d'un modèle d'aide à la décision pour le choix de la préfabrication dans un projet de construction au Royaume-Uni.	Royaume-Uni	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non précisé	Élevée
<b>Ermolli, 2007</b>	The environmental benefits of the Off-Site Manufacturing	Présentation générale de la préfabrication et de ses avantages.	Non spécifié	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non précisé	Moyenne
<b>Falk, 2013</b>	Cross-laminated timber: driving forces and innovation	Survol de l'industrie des produits en bois d'ingénierie (CLT), son évolution et proposition de pistes d'innovation pour favoriser son essor.	Non-spécifié	Article de journal, magazine, non publié	Bois d'ingénierie	Résidentiel	Moyenne
<b>FMI, 2017</b>	Prefabrication: the changing face of engineering and construction	Sondage sur la préfabrication réalisé par FMI.	États-Unis	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>FPIInnovation, s.d.</b>	Build Alberta Framing the Future	Étude de cas comparant la construction de deux maisons en bois identiques côte-à-côte, l'un de façon conventionnelle, l'autre avec des panneaux préfabriqués. La comparaison a été effectuée sur le nombre d'heures de travail et la consommation de matériaux.	Alberta, Canada	Article de journal, magazine, non publié	Panneaux	Résidentiel	Élevée
<b>Ganiron, 2014</b>	Prefabricated Technology in a Modular House	Portrait de la préfabrication, de ses avantages et des opportunités dans le marché aux Philippines.	Philippines	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Faible
<b>Gasparri, 2015</b>	Construction management for tall CLT buildings: From partial to total prefabrication of façade elements	Évaluation des avantages qu'apporte la préfabrication de l'enveloppe (façade) de bâtiments multiétages en bois.	Italie	Étude scientifique	Bois d'ingénierie	Non précisé	Moyenne
<b>GCCDS, s.d.</b>	Alternative Construction Research Guide	Guide destiné aux entrepreneurs présentant différentes méthodes de construction : systèmes assemblés en usine, systèmes de panneaux, systèmes empilés, systèmes de charpente, fondations élevées, systèmes de plancher, murs et systèmes de toit.	États-Unis	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>Goulding et Arif, 2013</b>	Research Roadmap Report - Offsite Production and Manufacturing	Rapport sur le marché de la fabrication (opportunités et avantages) et développement d'une feuille de route pour favoriser l'essor de la préfabrication.	Europe	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Green, 2014</b>	Steelwise - Modular mindset	Court article présentant les éléments déterminants pour opter pour la préfabrication.	Non spécifié	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Non résidentiel	Moyenne
<b>Hairstans et al., s.d.</b>	Building offsite - An introduction	Document d'introduction à la préfabrication.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Faible
<b>Homes for Scotland, 2015</b>	Research into Mainstreaming Offsite Modern Methods of Construction (MMC) in House Building	Étude sur l'adoption des techniques modernes de construction en Écosse consistant principalement en un sondage auprès de l'industrie.	Écosse	Rapport d'organisation	Rapport d'organisation	Résidentiel	Élevée

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Houdek et Gibson, s.d.</b>	Build Alberta Framing the Future - An Economic Impact Analysis of Stick Framed vs. Panelized Home Construction Methods through Case Study Analysis	Analyse d'impacts économique comparant la construction en panneaux et la construction conventionnelle (« stick-framed »).	Alberta, Canada	Étude scientifique	Panneaux	Résidentiel	Élevée
<b>Kremer et Symmons, 2015</b>	Mass timber construction as an alternative to concrete and steel in the Australia building industry: a PESTEL evaluation of the potential	Évaluation du potentiel de déploiement du CLT en Australie, basée sur le contexte économique et politique australien.	Australie	Étude scientifique	Bois d'ingénierie	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Krug et Miles, 2013</b>	An Offsite Guide for the Building and Engineering Services Sector	Guide de présentation de la préfabrication et de ses avantages.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Jaillon et al., 2009</b>	Quantifying the waste reduction potential of using prefabrication in building construction in Hong Kong	Comparaison d'immeubles en béton conventionnel et préfabriqué.	Hong Kong	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>Jaillon et Poon, 2008</b>	Sustainable construction aspects of using prefabrication in dense urban environment: a Hong Kong case study	Évaluation des bénéfices de l'utilisation de la préfabrication pour la construction d'immeubles à logement en béton à Hong Kong. L'analyse se base sur l'interview de professionnels et sept études de cas résidentielles et non résidentielles.	Hong Kong	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Japan Cross Laminated Timber Association, 2017</b>	Latest Information on Newly Built Middle and Large Scale Wooden Buildings	Présentation technique et en images de bâtiments préfabriqués au Japon.	Japon	Présentation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Faible
<b>Julien et al., 2015</b>	Compétitivité et opportunités pour l'industrie québécoise des bâtiments préfabriqués	Rapport analysant les différentes opportunités qu'offre la préfabrication de bâtiment en bois, béton ou acier à l'industrie québécoise dans un contexte changeant des exigences en habitation (ex. augmentation de l'efficacité énergétique).	Québec	Rapport d'organisation	Modulaire	Résidentiel	Moyenne
<b>Kamali, 2016</b>	Development of performance criteria for sustainability evaluation of modular versus conventional construction methods	Développement d'un cadre méthodologique pour bâtir un sondage visant à évaluer les avantages et opportunités principaux de la préfabrication.	Amérique du Nord	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Non précisé	Élevée

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Kawecki, 2010</b>	Environmental Performance of Modular Fabrication: Calculating the Carbon Footprint of Energy Used in the Construction of a Modular Home	Évaluation des émissions GES liées à la construction modulaire d'une maison (sans comparaison avec construction conventionnelle).	Non spécifié	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Faible
<b>KHS&amp;S Contractors, s.d.</b>	Prefabricated construction	Pamphlet promotionnel des produits et projets préfabriqués de KHS&S Contractors.	États-Unis	Page web	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Faible
<b>Kim, 2008</b>	Preliminary Life Cycle Analysis of Modular and Conventional Housing in Benton Harbor, Michigan	Analyse de cycle de vie comparative de la construction modulaire et conventionnelle dans le secteur résidentiel au Michigan. Les modules sont fabriqués à Topeka, Indiana, par Redman Homes.	Michigan, États-Unis	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Élevée
<b>Cluever, 2011</b>	Industry and Project Enablers for Broader use of Modularization	Thèse sur les changements requis dans l'industrie afin de tirer profit de la construction modulaire qui comprend une revue de littérature sur les avantages de celle-ci, ainsi que les obstacles à sa mise en œuvre.	États-Unis	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Non résidentiel	Faible
<b>Krug et Miles, 2013</b>	Offsite construction: Sustainability Characteristics	Étude de la préfabrication dans un contexte de développement durable, c'est-à-dire en abordant les aspects social, environnemental et économique de cette technique, avec un accès sur ce dernier. Pour ce faire, les auteurs de l'étude a examiné 20 études de cas afin de faire ressortir les bénéfices de la préfabrication pour le constructeur.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Modulaire	Non résidentiel	Moyenne
<b>La ruche, 2011</b>	La réduction à la source appliquée à l'habitation écologique	Cahier de principes de la revue La Ruche contenant un encadré sur les avantages de la maison usinée.	Québec	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible
<b>Lawson, 2010</b>	Sustainability and Process Benefits of Modular Construction	Évaluation des bénéfices environnementaux et économiques de la construction modulaire en s'appuyant sur des études de cas sur la construction de résidences étudiantes au Royaume-Uni.	Royaume-Uni	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel et non résidentiel	Élevée

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Lehmann 2013</b>	Low carbon construction systems using prefabricated engineered solid wood panels for urban infill to significantly reduce greenhouse gas emissions	Présentation de la technologie du CLT et identification des avantages et opportunités qui permettraient d'accroître le recours aux panneaux de CLT dans les projets de construction en Australie.	Australie	Étude scientifique	Bois d'ingénierie	Résidentiel	Élevée
<b>LOCUSI</b>	Caractéristiques et avantages	Brochure d'une solution modulaire à ossature de bois.	Québec	Page web	Modulaire	Résidentiel	Faible
<b>Lopez et Froese, 2016</b>	Analysis of costs and benefits of panelized and modular prefabricated homes	Cette étude compare les coûts de la construction d'une maison à l'aide de panneaux et de modules.	Colombie-Britannique	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>Lu, 2013</b>	Investigating waste reduction potential in the upstream processes of offshore prefabrication construction	Étude sur taux de résidus générés lors des phases de construction et d'assemblage sur site de bâtiments préfabriqués.	Hong Kong	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Non précisé	Élevée
<b>Mao, 2013</b>	Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects	Comparaison des émissions GES de bâtiments à plusieurs étages (structure en béton) pour modes de construction semi-préfabriqué et conventionnel.	Chine	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>McGraw-Hill, 2011</b>	Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry	Présentation des résultats au sondage effectué auprès de professionnels du bâtiment en Amérique du Nord sur les avantages et incitatifs de recourir à la préfabrication.	Amérique du Nord	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Moyenne
<b>Méthé Myrand 2017</b>	Le modulaire préfabriqué en bois atteint six étages	Article sur une construction modulaire en bois de Saint-Lambert.	Québec	Page web	Modulaire	Résidentiel	Faible
<b>Miles and Whitehouse, 2013</b>	Offsite Housing Review	Rapport commandé par le gouvernement britannique dans le but d'évaluer le potentiel de la construction hors-site ("offsite") dans le contexte de la pénurie de logements.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible
<b>Mirhadi Fard, 2015</b>	Safety concerns related to modular/prefabricated building construction	Étude des accidents de travail dans le secteur des bâtiments préfabriqués aux États-Unis effectuée à partir des enquêtes de l'Occupational Safety and Health Administration.	États-Unis	Étude scientifique	Modulaire	Non précisé	Élevée

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Modular Building Institute, 2016</b>	Modular advantage for the commercial modular construction industry - Multifamily market on the rise	Numéro complet de la publication trimestrielle du Modular Building Institute dédiée à la construction modulaire du secteur résidentiel. Contient plusieurs études de cas.	Amérique du Nord	Article de journal, magazine, non publié	Modulaire	Résidentiel	Moyenne
<b>Modular Building Institute, s.d.</b>	Eliminate Waste in Design Phase	Page web expliquant comment la préfabrication permet une réduction de déchets.	États-Unis	Page web	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>Monahan, Powel, 2011</b>	An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework	Évaluer émissions carbone liées aux matériaux de maisons modulaire et conventionnelle.	Royaume-Uni	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne
<b>Mortenson, 2014</b>	Prefabrication - Benefits & drivers for successful implementation	Présentation des résultats d'une analyse coûts-avantages de la construction d'un nouvel hôpital à Denver effectuée par l'entreprise en charge du projet.	États-Unis	Présentation	Panneaux	Non résidentiel	Moyenne
<b>National Institute of Building Sciences Off-Site Construction Council, 2014</b>	Report of the Results of the 2014 Off-Site Construction Industry Survey	Rapport présentant les résultats d'un sondage de l'industrie de la construction sur l'étendue de l'utilisation de la préfabrication et ses bénéfices ainsi que les défis qui en découlent.	États-Unis	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>OAQ, 2011</b>	Le préfabriqué pour les pros	Publication de l'Ordre des architectes du Québec visant à démystifier les préjugés de la préfabrication.	Québec	Page web	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>Quale, 2012</b>	Comparing Environmental Impacts of Building Modular and Conventional Homes in the United States	Analyse de cycle de vie comparative d'un bâtiment modulaire et d'un bâtiment conventionnel (excluant phase d'occupation) basée sur des données provenant de plusieurs compagnies de préfabrifications et de constructeurs conventionnels.	États-Unis	Étude scientifique	Modulaire	Résidentiel	Élevée
<b>Rippon, 2011</b>	The Benefits And Limitations Of Prefabricated Home Manufacturing In North America	Rapport de projet de baccalauréat sur les bénéfices et limites de l'utilisation de la préfabrication pour la construction de maisons.	Amérique du Nord	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne



Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Rouleau et al., 2018</b>	Understanding energy consumption in high-performance social housing buildings: A case study from Canada	Étude comparant la consommation énergétique des logements d'un immeuble dont une section est fabriquée en bois conventionnel et l'autre en CLT.	Québec	Article scientifique	Bois d'ingénierie	Résidentiel	Élevée
<b>SBCA, 2015</b>	Faster. Stronger. Safer.	Comparaison côte à côte de la construction de deux maisons de bois de 2 900 pieds carrés, l'une construite de façon conventionnelle, l'autre utilisant des composantes préfabriquées.	États-Unis	Page web	Panneaux	Résidentiel	Élevée
<b>SCHL, 2013</b>	Logements et collectivités durables – les habitations industrialisées	Chapitre de L'Observateur du logement au Canada concernant les logements préfabriqués.	Canada	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>SCHL, 2015</b>	Classiques de L'Observateur : Logements et collectivités durables – les habitations industrialisées	Page web résumée de l'étude de 2013, avec des statistiques de construction préfabriquées allant jusqu'à 2014.	Canada	Page web	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible
<b>Schoenborn, 2012</b>	A Case Study Approach to Identifying the Constraints and Barriers to Design Innovation for Modular Construction	Mémoire de maîtrise sur les barrières de conception dues à la construction modulaire affectant les architectes.	États-Unis	Article de journal, magazine, non publié	Modulaire	Non précisé	Élevée
<b>Smith, 2010</b>	Prefab architecture - A guide to modular design and construction	Ouvrage exhaustif sur la préfabrication modulaire abordant ses applications et des cas d'études.	États-Unis	Livre	Modulaire	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Smith, 2015</b>	Permanent modular construction - Process, practice, performance	Évaluation des avantages économiques quantitatifs et qualitatifs de la construction modulaire (durée, coûts, qualité de construction, sécurité des travailleurs, etc.).	États-Unis	Rapport d'organisation	Modulaire	Non résidentiel	Élevée
<b>Smith, 2016</b>	Off-Site Construction Implementation Resource: Off-Site and Modular Construction Explained	Brochure sur la préfabrication et ses avantages.	États-Unis	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Non résidentiel	Moyenne
<b>Steinhardt et al., 2013</b>	What's driving the uptake of prefabricated housing in Australia?	Évaluation des avantages, opportunités et principaux obstacles basée sur les perceptions d'entrepreneurs généraux sondés.	Australie	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>Takagi, s.d.</b>	Development of design and construction technologies for mixed structure buildings using novel wood-based materials	Présentation sur les implications de l'utilisation du CLT et autre bois d'ingénierie dans les bâtiments en matière de performance structurelle, de résistance au feu et de durabilité.	Japon	Présentation	Bois d'ingénierie	Non précisé	Faible
<b>Taylor, 2009</b>	Offsite Production in the UK Construction Industry – prepared by HSE, A Brief Overview	Présentation de construction préfabriquée au Royaume-Uni et de ses avantages dans le cadre d'études de cas.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel et non résidentiel	Moyenne
<b>Télé-Québec, 2012</b>	La maison préfabriquée	Reportage de l'émission Légitime dépense sur les maisons préfabriquées soulignant les particularités de ce type de construction.	Québec	Page web	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible
<b>Timetric, 2014</b>	Prefabrication Trends and Future Outlook in the Construction Industry	Sondage effectué auprès de 88 entreprises de construction à travers le monde sur l'état actuel et l'avenir de la préfabrication.	Monde	Présentation	Modulaire	Résidentiel et non résidentiel	Élevée
<b>Tsuchimoto et Araki, 2017</b>	Studies on structural design for mid-rise 2x4 construction	Présentation technique sur les structures de bâtiments préfabriqués en Asie.	Asie	Présentation	Préfabrication (général)	Non précisé	Faible
<b>UK Homes and Communities Agency, 2015</b>	Time and cost savings through off site manufacture of new homes	Étude de cas sur les avantages de la préfabrication résidentielle au Royaume-Uni effectuée avec la société Accord.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible
<b>USG, 2018</b>	Commercial Construction Index	Survol du marché de la préfabrication aux États-Unis et identifications des tendances principales.	États-Unis	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Non précisé	Moyenne
<b>WoodWorks, 2014</b>	Putting the Pieces Together	Rapport présentant les avantages de la préfabrication en bois dans le secteur résidentiel, appuyé par plusieurs études de cas. Le message principal du rapport est que la préfabrication, appliquée aux bons projets, peut sauver temps et argent.	Amérique du Nord	Rapport d'organisation	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne
<b>WRAP (Wood &amp; Resources Action Programme), s.d.</b>	Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction	Rapport présentant une analyse concentrée sur la réduction de déchets que permettent les constructions hors site "volumétriques", c'est-à-dire modulaires. L'étude est basée sur un cas réel d'un contracteur.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Modulaire	Résidentiel et non résidentiel	Moyenne

Auteurs et année de l'étude	Titre de l'étude	Courte description (FR)	Contexte géographique	Type de source	Type de préfabrication	Résidentiel vs non résidentiel	Pertinence
<b>WRAP (Wood &amp; Resources Action Programme), s.d.</b>	Waste Minimisation through Offsite Timber Frame Construction	Étude de cas de la compagnie Stewart Milne, un fabricant de panneaux et de planchers de bois préfabriqués, concernant la réduction de déchets.	Royaume-Uni	Rapport d'organisation	Modulaire	Résidentiel et non résidentiel	Moyenne
<b>Xu et Zhao, 2010</b>	Some Economic Facts of the Prefabricated Housing	Présente certains avantages de la préfabrication se basant principalement sur l'exemple chinois du projet Vanke Xinlicheng à Shanghai. Des exemples d'entreprises américaines ayant passé à la préfabrication sont également présentés.	États-Unis, Japon, Chine	Article de journal, magazine, non publié	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne
<b>Yates et al., 2008</b>	Design of an 8 storey Residential Tower from KLH Cross Laminated Solid Timber Panels	Étude comparant la construction d'un immeuble résidentiel en CLT avec celle d'un immeuble en béton.	Australie	Article de journal, magazine, non publié	Bois d'ingénierie	Résidentiel	Élevée
<b>Zhai et al., 2013</b>	Increasing the level of sustainability via off-site production - A study of the residential construction sector in China	Sondage dans l'industrie chinoise de la préfabrication sur les leviers et les freins à son implantation (110 répondants).	Chine	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Élevée
<b>Zhai et al., 2014</b>	Embracing off-site innovation in construction in China to enhance a sustainable built environment in urban housing	Cette publication met l'accent sur les enjeux de durabilité environnementale, économique et sociale du secteur de la construction en Chine. Les bénéfices de la préfabrication du béton préfabriqué sont abordés en faisant une revue modeste de la littérature.	Chine	Revue de littérature	Préfabrication (général)	Résidentiel	Moyenne
<b>Zhang et Skitmore, 2012</b>	Industrialized housing in China: a coin with two sides	Revue de littérature couplée à une enquête auprès des acteurs de l'industrie de la construction préfabriquée dans un pays en développement, la Chine. Trois cas d'études de construction de béton sont présentés. Les auteurs concluent que cette technologie procure de grands bénéfices économiques, par une plus grande automatisation, ainsi qu'environnementaux.	Chine	Étude scientifique	Préfabrication (général)	Résidentiel	Faible