



UNIVERSITY OF  
TORONTO

SCHOOL  
OF CITIES



# DÉVELOPPER LA CONSTRUCTION MODULAIRE

**Août 2024**

**Auteurs :**

Dr. Carolyn Whitzman, Lauren Shiga, et. Priya Perwani

**Contributeurs :**

Ahmad Al-Musa et. Ali Qureshey

**Traducteur :**

Louise Hébert



Français

## **RENSEIGNEMENTS GÉNÉRAUX**

Contactez-nous à [schoolofcities@utoronto.ca](mailto:schoolofcities@utoronto.ca) ou au 1-416-946-7534.

Pour en savoir plus sur nous, visitez [schoolofcities.utoronto.ca](http://schoolofcities.utoronto.ca).

## **AVERTISSEMENT**

School of Cities a reçu un financement de la SCHL pour soutenir le cinquième cycle du Défi d'offre de logement. Toutefois, School of Cities est seul responsable de l'exactitude et de la pertinence de cette publication. La SCHL n'assume aucune responsabilité quant au contenu, aux interprétations, aux conclusions ou aux opinions exprimées dans cette publication ou dans d'autres documents résultant des travaux financés.

## **DESIGN GRAPHIQUE**

Tony Chang et Priya Perwani

# QUESTION DE RECHERCHE

Comment le logement modulaire peut-il être développé, en mettant l'accent sur la nécessité de surmonter les contraintes liées aux relations entre les promoteurs, les fabricants et les entreprises de construction ?

## TABLE DES MATIÈRES

<b>Résumé</b>	<b>3</b>
<b>1. Vue d'ensemble</b>	<b>4</b>
Qu'est-ce qu'une construction modulaire ?	4
Quels sont les avantages de la construction modulaire ?	6
Où la construction modulaire est-elle devenue la norme ?	8
<b>2. Obstacles et facteurs d'expansion</b>	<b>11</b>
Normalisation du code du bâtiment	11
Le financement	12
Les contrats	15
Le choix du site	16
La conception	16
La logistique et le transport	18
La numérisation dans la conception	19
<b>3. Exemples de réussites</b>	<b>21</b>
Équilibrer la standardisation et la personnalisation	21
Partenariats stratégiques	21
Une planification et une coordination rigoureuses	22
<b>4. Recommandations</b>	<b>24</b>
Quant au projet	24
Quant à l'organisation	24
Quant à l'industrie	25
<b>Notes</b>	<b>26</b>
<b>Bibliography</b>	<b>27</b>

# RÉSUMÉ

Ce rapport s'intéresse à la manière dont l'habitat modulaire peut être développé, en mettant l'accent sur la nécessité de surmonter les contraintes liées aux relations entre les promoteurs, les fabricants et les entreprises de construction. Il comprend quatre sections : (1) Vue d'ensemble, (2) Obstacles et facteurs d'expansion, (3) Exemples de réussites, et (4) Recommandations.

La section 1 précise que la construction modulaire fait référence à diverses méthodes de construction qui permettent d'assembler une structure sur place à partir de composants déjà fabriqués (Murray-Parkes et coll., 2017). Les composants fabriqués en usine hors site sont généralement composés de modules et d'unités semblables pour faciliter l'assemblage. L'avantage de la production hors site est qu'elle peut répondre à des environnements spécifiques ou être produite en masse pour s'adapter à une variété d'environnements (Ferdous et coll., 2019).

La section 2 souligne les nombreux avantages de la construction modulaire, en particulier lorsqu'elle est mise en œuvre à grande échelle, mais plusieurs obstacles entravent une large adoption de cette façon de faire. Ces obstacles se situent tant au niveau du projet, que de l'organisation et de l'industrie, et nécessitent des solutions à ces trois niveaux. Cette section présente les obstacles et propose des solutions, en mettant l'accent sur les relations entre les parties prenantes dans le contexte canadien.

La section 3 s'appuie sur des études de cas pour identifier les stratégies clés qui facilitent la réussite des projets de logements modulaires. Enfin, la section 4 passe en revue des recommandations pour permettre un développement plus large de la construction modulaire, y compris des changements sur le plan des projets et de l'organisation, ainsi que des partenariats avec l'industrie pour promouvoir un changement global.

## LIMITES DE LA RECHERCHE

L'étude comprend de la documentation internationale et des études de cas sur l'expansion de la construction modulaire. Dans une prochaine étape, il serait pertinent d'étudier les pratiques de construction modulaire au Canada par le biais d'une recherche primaire, d'études de cas et d'une analyse comparative.

# 1. VUE D'ENSEMBLE

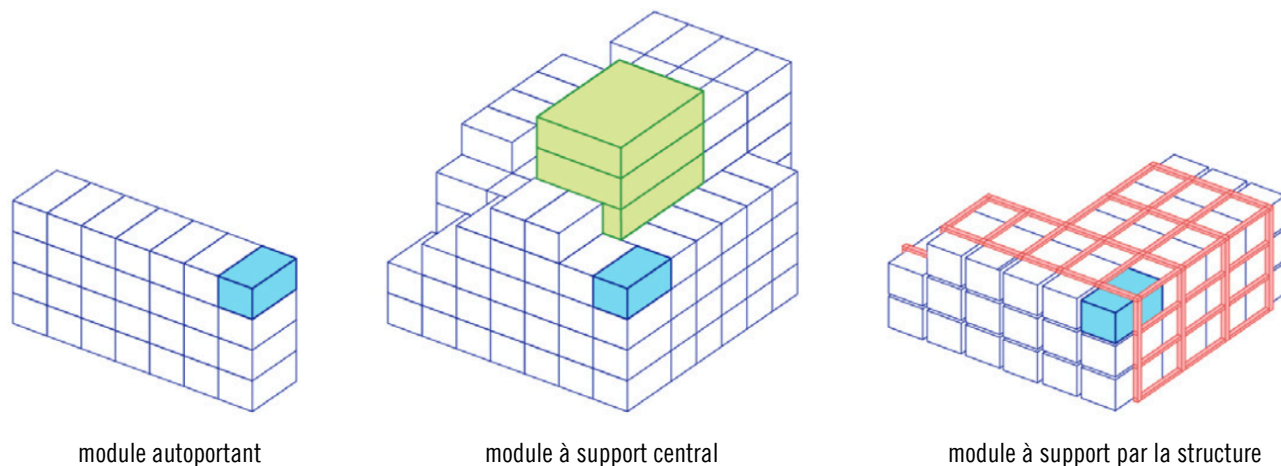
## QU'EST-CE QU'UNE CONSTRUCTION MODULAIRE ?

Il n'existe pas de terme unique pour désigner la construction modulaire, les termes construction modulaire, construction hors site et préfabrication étant utilisés de manière interchangeable (Bertram et coll., 2019). La construction modulaire fait référence à diverses méthodes de construction qui permettent d'assembler une structure sur site à partir de composants déjà fabriqués (Murray-Parkes et coll., 2017). Les composants fabriqués en usine hors site sont généralement composés de modules et d'unités semblables pour faciliter l'assemblage.

*La construction modulaire fait référence à diverses méthodes de construction qui permettent d'assembler une structure sur site à partir de composants déjà fabriqués*

La construction modulaire utilise les mêmes matériaux, comme le bois, l'acier et le béton, que les méthodes de construction traditionnelles, mais se distingue par les divers composants structurels et matériaux utilisés dans la construction préfabriquée. Par exemple, les bâtiments modulaires peuvent avoir des façades, des escaliers et des dalles préfabriqués, tout en étant renforcés par des panneaux et des cadres en acier (Ferdous et coll., 2019). En général, la construction modulaire peut prendre trois formes : (1) modules porteurs autoportants, (2) modules à support central ou (3) modules supportés par la structure (Ferdous et coll., 2019) (Figure 1). Tous ses composants hors site doivent être individuellement stables sur le plan structurel pour résister au transport et à l'assemblage sur site.

**Figure 1: Trois formes possibles de construction modulaire.**

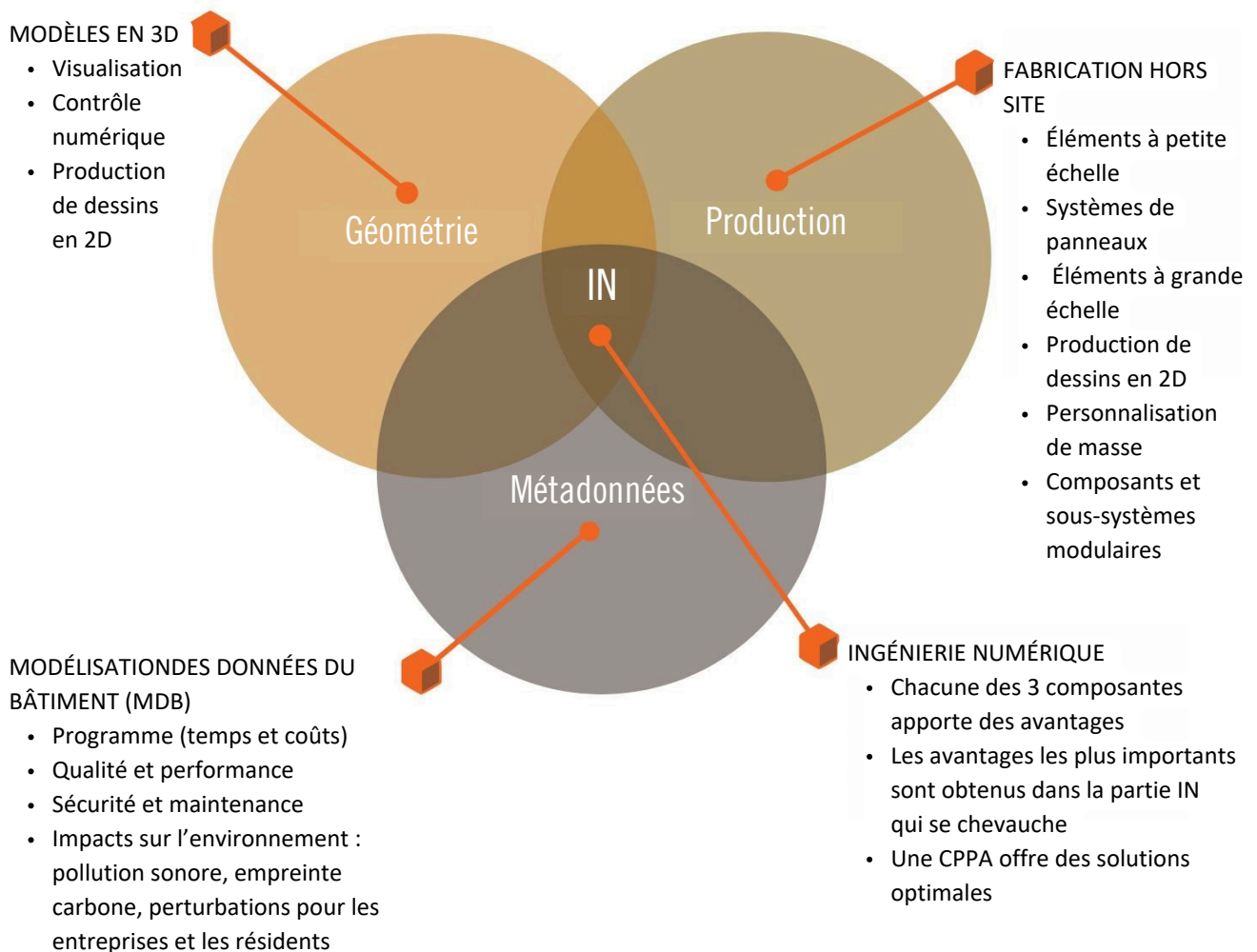


Source: Bellini et coll., 2023.

Les méthodes de construction modulaire sont devenues de plus en plus populaires au Canada, représentant 4 à 6 % de toutes les constructions, en raison de leur capacité à minimiser la main-d'œuvre sur site et de l'imprévisibilité de la disponibilité des matériaux de construction (Dragicevic & Riaz, 2024; CSA 2023). Comme chaque élément de construction est fabriqué en usine, dans des conditions prévisibles, on minimise le risque dans le processus de préfabrication (Murray-Parkes et coll., 2017). Cette dernière exige de concevoir chaque élément d'un bâtiment tout en concevant simultanément le processus d'assemblage nécessaire à l'insertion de chaque pièce dans les composants modulaires (Murray-Parkes et coll., 2017).

Pour expliquer le processus de construction modulaire, Murray-Parkes et coll. utilisent l'expression conception pour la production et l'assemblage (CPPA, en anglais : DfMA pour Design for Manufacture and Assembly). Ce processus est illustré dans la figure 2.

**Figure 2: Conception pour la production et l'assemblage CPPA.**



Source: Murray-Parkes et coll., 2017.

## QUELS SONT LES AVANTAGES DE LA CONSTRUCTION MODULAIRE ?

Le succès de la construction modulaire réside dans les nombreuses solutions qu'elle apporte aux problèmes posés par la construction sur site. Les avantages de la construction modulaire sont nombreux, mais les principaux sont les suivants : (1) la réduction du temps de construction sur site, (2) une main-d'œuvre plus diversifiée et dont les conditions sont plus sécuritaires, (3) le contrôle de la qualité, (4) la possibilité accrue de recourir à des méthodes de construction écologiques, (5) la rentabilité du processus de construction et d'utilisation de la main-d'œuvre, et (6) la possibilité de construire à des prix abordables.

### *i) La réduction du temps de construction*

Le temps nécessaire à la construction de bâtiments modulaires est considérablement réduit par rapport aux méthodes de construction traditionnelles. Les modules peuvent être fabriqués en même temps que l'on prépare le site pour la construction (Henderson, 2020), ce qui permet d'économiser 10 à 25 % par rapport aux coûts de construction traditionnels en réduisant la main-d'œuvre, les frais généraux du site et la gestion de la construction (Bertram et coll., 2019). La réduction de l'activité sur le chantier, l'amélioration des conditions de sécurité et la diminution du risque de vol de matériaux de construction sur le site (SCHL, 2020) augmentent encore l'efficacité. Comme les chantiers de construction modulaire sont généralement plus petits et que l'assemblage sur site est rapide, ils contribuent à réduire le bruit et le coût énergétique de la construction ainsi que les perturbations du voisinage (Murray-Parkes et coll., 2017). L'efficacité de ce type de construction tient en grande partie au traitement, par les entreprises, des bâtiments modulaires comme des produits plutôt que comme des projets (Blanco et coll., 2023). Pour ce faire, les entreprises donnent la priorité aux meilleures capacités de fabrication de leur catégorie, notamment des plateformes de conception numérique sophistiquées et des lignes de production allégées et efficaces (Blanco et coll., 2023).

***Le temps nécessaire à la construction de bâtiments modulaires est considérablement réduit par rapport aux méthodes de construction traditionnelles.***

### *ii) Une main-d'œuvre plus diversifiée et dont les conditions sont plus sécuritaires*

La construction modulaire est plus sûre pour les travailleurs. Lorsque la construction a lieu dans un environnement aux conditions météorologiques contrôlées, l'absence de pluie et de neige élimine les surfaces glissantes et réduit les glissades et les chutes. La construction modulaire élimine également les risques d'exposition des lignes électriques à l'humidité, ce qui peut provoquer des électrocutions (Boxx, 2018). Comme les travaux de construction en usine ont des horaires et des lieux plus

prévisibles que la construction sur site, il est possible d'attirer une main-d'œuvre plus diversifiée sur le plan du sexe et de l'âge (Modular Building Institute, 2024). Par exemple, chez Lindbäcks, une entreprise de construction modulaire en Suède, 30 % de la main-d'œuvre est féminine (Mari, 2024).

### *iii) Le contrôle de la qualité*

Le contrôle de la qualité rend la construction modulaire plus fiable. Les composants étant fabriqués dans une usine contrôlée, ils ne sont pas soumis à des éléments extérieurs susceptibles d'entraver le processus de construction ou l'intégrité de la structure. Cela réduit aussi le gaspillage de ressources et les pertes de temps dues aux contraintes météorologiques. Tous les matériaux utilisés sont soigneusement choisis pour répondre aux besoins d'un projet, pouvoir être soulevés par une grue et correspondre aux besoins énergétiques de la construction (Ferdous et coll., 2019). Le cadre normalisé et la répétition de la conception (Mari, 2024), ainsi que la possibilité de confirmer les détails de la conception avant la production (Mitchell, 2021), permettent une plus grande précision dans la production.

### *iv) Des bâtiments plus écologiques*

Le processus de construction modulaire permet également de réduire la consommation d'énergie lors de la construction des bâtiments. Les pratiques de construction traditionnelles représentent 32 % de la consommation d'énergie, 30 % des émissions de dioxyde de carbone et 30 à 40 % de la production de déchets (Ferdous et coll., 2019). La construction modulaire permet de réduire de 70 % les déchets mis en décharge et de 70 % les émissions des véhicules de livraison. L'étanchéité à l'air et l'impact global sur l'efficacité énergétique peuvent également être affectés (SCHL, 2020).

### *v) La rentabilité*

La construction modulaire offre la possibilité d'adopter des pratiques de construction rentables. Par exemple, le prix au pied carré d'une maison modulaire peut être deux fois moins élevé que celui d'une maison construite sur place, grâce à l'utilisation de la production de masse (Goodman, 2023). Comme toutes les pièces des modules sont construites hors site, l'ensemble du bâtiment peut être fabriqué en usine, ce qui réduit les coûts de main-d'œuvre, de construction et de temps, car les usines peuvent fonctionner 24 heures sur 24. De plus, ceci permet de respecter les délais de construction (Ferdous et coll., 2019). La construction préfabriquée en usine peut également accroître la productivité par l'automatisation de grands volumes standardisés, ce qui permet une production modulaire plus importante et des bâtiments plus grands (Murray-Parkes et coll., 2017). Une « conception adéquate » peut améliorer la productivité de 3 à 12 %, et celle-ci augmentera au fur et à mesure que l'expertise s'établira (Bertram et coll., 2019).

En outre, une conception initiale détaillée réduit les coûts du projet de 5 à 8 %, en minimisant les travaux de reprise et de reconception sur site (Bertram et coll., 2019). Cela permet d'économiser du temps, des matériaux et de la main-d'œuvre, offrant ainsi une plus grande précision et un meilleur contrôle des coûts, avec un nombre limité de modifications (Smith & Rice, 2015).



## vi) La possibilité de construire des logements abordables

La construction modulaire n'est pas synonyme de coûts de construction abordables, mais ceux-ci peuvent devenir plus prévisibles s'ils sont intentionnellement contrôlés lors du processus de conception et de planification (Wilson, 2023). En effet, les coûts du projet sont déterminés lors de réunions initiales avec le fabricant modulaire qui détaille les spécifications de conception et les coûts de transport. Parmi les variables de coût, citons le processus de fabrication, le temps de production, la capacité de l'usine, la distance de camionnage vers le site, et le nombre de trajets nécessaires (Wilson, 2023).

Dans certains cas, en fonction de l'emplacement du projet, il peut être plus rentable de fabriquer des modules aussi grands que possible, dans le respect des réglementations, et de payer pour une escorte policière ou un acheminement particulier afin de réduire la quantité de modules à construire et le nombre de voyages à effectuer (Wilson, 2023). En fin de compte, la construction modulaire doit être considérée comme une combinaison de coûts fixes et variables dont le résultat est un investissement sur toute la durée du projet (Wilson, 2023). Bien que les coûts initiaux soient élevés, si cette approche est mise en œuvre correctement, elle sera plus rentable pour créer de la valeur à l'avenir, ce qui montre comment elle peut profiter aux propriétaires des logements (Wilson, 2023).

## OÙ LA CONSTRUCTION MODULAIRE EST-ELLE DEVENUE LA NORME ?

Les formes modulaires de construction font l'objet d'une attention accrue, car l'offre de main-d'œuvre dans le secteur de la construction ne suffit pas à répondre à la demande de logements dans le monde (Bertram et coll., 2019). Plusieurs pays scandinaves (Suède, Finlande, Norvège) et le Japon ont développé cette approche, et plusieurs autres pays (Allemagne, Autriche, Royaume-Uni) s'y intéressent.

En Suède, la construction modulaire remonte au Million Home Program<sup>1</sup> des années 1960. Près de 45 %<sup>2</sup> des immeubles résidentiels à plusieurs étages intègrent des éléments préfabriqués dans leur construction (Lessing & Stehn, 2020). Les entreprises modulaires suédoises utilisent un modèle commercial centré sur le client pour garantir la flexibilité de la conception et la qualité des produits (Manley & Widén, 2019).

L'un des principaux opérateurs de logements modulaires dans le pays est Boklok, une subdivision de la célèbre entreprise suédoise de meubles Ikea et de l'entreprise de construction Skanska (Lessing & Stehn, 2020). Ikea est devenu populaire lors du Million Home Program, lorsque l'entreprise a introduit des meubles en kit pour des appartements produits en masse (« First Store in Stockholm Paved New Roads—IKEA Museum », 2024). Boklok est en activité depuis 1995 et a construit plus de 10000 maisons préfabriquées depuis sa création (Lessing & Stehn, 2020).

**Figure 3: Quartier modulaire Växhuset à Mariastaden réalisé par BoKlok**



Source: BoKlok Växhuset - Nybyggda Lägenheter i Helsingborg, 2024

L'entreprise est spécialisée dans les petits logements individuels, les maisons de ville et les immeubles résidentiels de 2 à 6 étages qui répondent aux besoins de familles à la recherche d'un logement abordable (figure 3) (Lessing & Stehn, 2020). Un bon 85 % de la production totale est construit en usine, y compris les cadres structurels, l'isolation, les fenêtres, les portes, les composants électriques, le chauffage, la ventilation et la climatisation, le revêtement de sol, la cuisine, la salle de bain et le revêtement extérieur (Lessing & Stehn, 2020).

La construction hors site est une force motrice au Japon depuis la création de la Japan Housing Corporation<sup>3</sup> dans les années 1950 (Liu et coll., 2019). La construction de logements modulaires a été la solution à la pénurie de logements à la suite des bombardements durant la Seconde Guerre mondiale, ainsi qu'à l'accélération de la natalité, phénomène mondial après la guerre (Liu et coll., 2019). Aujourd'hui, le marché du logement modulaire demeure solide, représentant 15 % du parc de maisons individuelles (Lessing & Stehn, 2020). Au total, le Japon construit plus de 70000 bâtiments préfabriqués par an (Liu et coll., 2019; Bayliss & Bergin, 2020).

**Figure 4: Image CG du bâtiment Heim Sagamihara Suite Yokoyamadai, un développement mixte de 9 étages réalisé par Sekisui House en 2023.**



Source: Sekisui Chemical Co., Ltd., 2024

Pour répondre à la forte demande du marché du logement, le Japon s'appuie sur des installations de haute technologie et à grande échelle pour produire hors site les composants de la construction modulaire (Manley & Widén, 2019). Les progrès du secteur modulaire permettent aux entreprises de personnaliser les options de logement grâce à une fabrication standardisée et à l'automatisation (Manley & Widén, 2019).

Sekisui House est une entreprise japonaise qui a ouvert la voie à la construction modulaire à grande échelle. Elle a commencé à construire des logements modulaires dans les années 60 et s'est depuis développée en Australie, à Singapour, en Chine et aux États-Unis (Buntrock, 2017). En 2013, l'entreprise a construit 1038 tours résidentielles à plusieurs étages et elle continue depuis (Buntrock, 2017). Le Heim Sagamihara Suite Yokoyamadai est un de leur projet récent. Il s'agit d'un complexe à usage mixte de 9 étages conçu pour imiter les montagnes Tanzawa qui se profilent au loin (Sekisui Chemical Co., Ltd., 2024).

## 2. OBSTACLES ET FACTEURS D'EXPANSION

La nécessité d'améliorer la productivité dans le secteur de la construction au Canada est désormais reconnue par les défenseurs du logement et le gouvernement fédéral (Gouvernement du Canada, 2024; Groupe de travail pour l'habitation et le climat, 2024). Dans le contexte mondial actuel de crise du logement et de pénurie de main-d'œuvre, la construction modulaire peut grandement changer la donne dans l'industrie et contribuer à répondre aux besoins (McKinsey & Company, 2019; Groupe de travail pour l'habitation et le climat 2024; Gouvernement du Canada, 2024). Elle offre de nombreux avantages, en particulier lorsqu'elle est réalisée à grande échelle, mais plusieurs obstacles entravent son adoption. Ces obstacles se situent à la fois au niveau du projet, de l'organisation et de l'industrie, et nécessitent des solutions sur ces trois plans. Cette section les explore et propose des solutions, en mettant l'accent sur les relations entre les parties concernées en contexte canadien.

*Dans le contexte mondial actuel de crise du logement et de pénurie de main-d'œuvre, la construction modulaire peut grandement changer la donne dans l'industrie et contribuer à répondre aux besoins*

### NORMALISATION DU CODE DU BÂTIMENT

L'environnement réglementaire peut constituer un obstacle important à l'expansion de la construction modulaire. Les codes du bâtiment et les réglementations, qui varient selon les provinces et les municipalités, sont généralement conçus pour des méthodes de construction traditionnelles. La complexité des différences entre les divers codes peut rendre difficile l'extension de la construction modulaire d'une province ou d'un territoire à l'autre, ou même au-delà d'une seule municipalité. En Amérique du Nord, les codes de construction sont « normatifs », spécifiant les matériaux et leur utilisation, ce qui crée un rythme de travail inefficace. À l'inverse, en Suède, les codes de construction sont basés sur la « performance », ce qui permet aux constructeurs de faire preuve d'innovation pour obtenir des résultats (Mari, 2024).

Les permis d'aménagement et le rezonage n'avancent pas nécessairement aussi vite que les projets modulaires (SCHL, 2021). Comme le temps, c'est de l'argent, les retards réglementaires et la nécessité d'obtenir des autorisations répétées peuvent entraîner des retards dans les projets et une augmentation des coûts. Dans un tel contexte, les entreprises de fabrication sont obligées de naviguer dans un réseau complexe de réglementations locales, provinciales et fédérales pour assurer la conformité des modules. Les contrats de construction doivent donc tenir compte des variations juridictionnelles et inclure des clauses garantissant que toutes les parties prenantes respectent les codes et règlements de construction et de travail pertinents (Azghandi-Roshnavand, 2019). À plus

long terme, la SCHL (2021) suggère de coordonner les codes régionaux du bâtiment en améliorant le Code national et en soutenant leur harmonisation par les provinces et les territoires. Le porteur de ce dossier pourrait être le Conseil de la construction modulaire du Canadian Home Builders' Association, qui a été créé en 2017 pour donner la priorité à l'élaboration de codes, de normes et de réglementations en assurant la liaison avec les fonctionnaires, le gouvernement et les organismes de réglementation (Modular Construction Council, 2024).

Au Canada, tous les projets modulaires doivent respecter les mêmes normes de construction que les bâtiments construits de manière conventionnelle (Groupe CSA, 2023). La Norme CSA A277:16 (R2021) : Mode opératoire visant la certification des bâtiments, des modules et des panneaux préfabriqués, publiée en 2009, garantit que les projets modulaires respectent le Code national du bâtiment et les exigences de planification et d'organisation applicables aux travaux effectués en usine. En 2019, le pays comptait 147 usines certifiées pour la construction de structures résidentielles (Mitchell, 2021).

Les inspections en usine ont lieu à différents stades du processus de fabrication. Sur le site, le processus de certification peut limiter l'inspection des autorités compétentes au raccord des composants modulaires de l'usine aux éléments du site. Cela permet de gagner du temps et de l'argent (Mitchell, 2021). Cependant, il faut noter que le cadre réglementaire n'est pas entièrement adapté pour soutenir la construction modulaire dans toutes les provinces canadiennes (Dragicevic et coll., 2024).<sup>4</sup>

## LE FINANCEMENT

Smith et Rice (2015) notent que le coût d'un projet n'est pas nécessairement réduit par la construction modulaire et qu'il est même parfois plus élevé. Il en sera ainsi jusqu'à ce que ce type de construction se généralise. Dans la construction modulaire, les coûts peuvent être concentrés en amont. En effet, aux premiers stades du développement, la construction modulaire nécessite des investissements dans les matériaux et la formation des ouvriers qualifiés. Dans les premières phases d'un projet, cette approche entraîne des coûts pour une conception détaillée et des matériaux supplémentaires pour un transport sûr.

Pour réaliser des économies d'échelle en phase de production, Bellini et coll. (2023) indiquent que les entreprises doivent atteindre une productivité maximale d'environ 1000 unités par an. On peut obtenir une augmentation supplémentaire de 5 % de productivité si les entreprises produisent 5 000 unités par an (Bellini et coll., 2023) (figure 5).

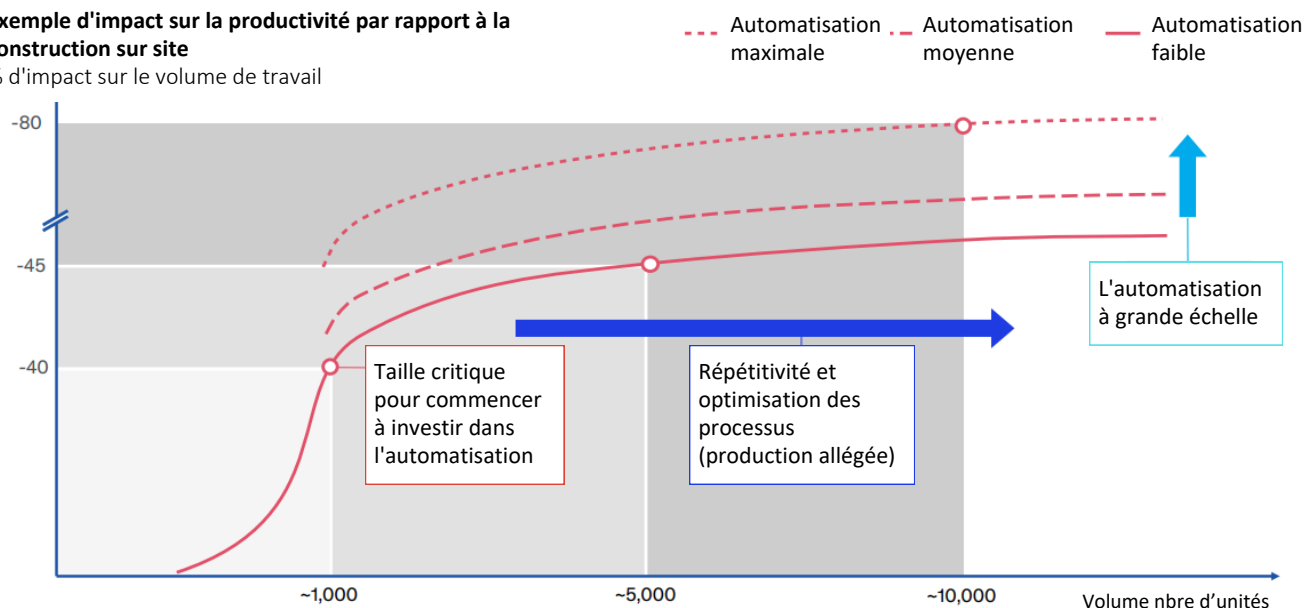
Cependant, à mesure qu'elle occupe une proportion plus grande de la construction totale, la construction modulaire peut réduire les coûts globaux d'un projet jusqu'à 20 % et le temps de construction de 50 % (figures 6 et 7). Ces chiffres vont probablement s'améliorer avec l'expérience acquise par l'industrie et l'efficacité de la technologie et du transport (Bertram et coll., 2019).

## Figure 5: Comment réaliser des économies d'échelle dans la production des unités

La première étape critique de la productivité est atteinte à partir d'environ 1 000 unités par an, après quoi les gains de productivité se ralentissent

### Exemple d'impact sur la productivité par rapport à la construction sur site

% d'impact sur le volume de travail



Source: Bertram et coll., 2019

Les dispositions financières dans les contrats de construction modulaire sont plus complexes que dans la construction traditionnelle. Les paiements sont souvent exigés à différents stades, par exemple à l'achèvement de la fabrication et après la livraison et l'assemblage des modules, tous deux avant le début de la construction sur le site. Des structures de paiement innovantes, telles que les paiements d'étape ou les comptes séquestres (comptes où l'argent est détenu temporairement par un tiers, jusqu'à ce que les conditions soient remplies), peuvent aider à gérer les risques financiers et à s'assurer que les fonds sont disponibles en cas de besoin (Azghandi-Roshnavand, 2019).

Les pratiques actuelles de prêt privé et public s'alignent rarement sur ce flux de projet, ce qui limite considérablement la disponibilité des options de financement pour les projets modulaires (Dragicevic et coll., 2024). Les compagnies impliquées dans la construction modulaire opèrent différemment de l'industrie de la construction traditionnelle. Cela signifie qu'il y a encore beaucoup de petits opérateurs, avec un nombre limité d'entreprises capables de faire des investissements à long terme, qui courent un risque élevé de faillite (Erlich, 2023)). Les taux de prêt pour la construction modulaire continuent d'être plus élevés, car il s'agit d'une méthode relativement nouvelle qui n'est pas toujours bien comprise par l'industrie du financement (Bertram et coll., 2019). Ce problème s'atténuerait si la construction modulaire était davantage adoptée et si de nouvelles normes de prêt et d'emprunt étaient mises en place.

Comme la construction modulaire supprime le besoin de sous-traitants, elle réduit du même coup leurs marges bénéficiaires. Dans la construction traditionnelle, les risques sur site sont supportés par les entrepreneurs; à l'inverse, dans la construction modulaire, ils sont souvent transférés aux fabricants hors site, ce qui permet aux entrepreneurs de limiter le besoin de polices de responsabilité civile générale étendues. En retour, les assureurs et les souscripteurs sont contraints de réduire les primes gonflées pour les travaux sur site (George, 2018).

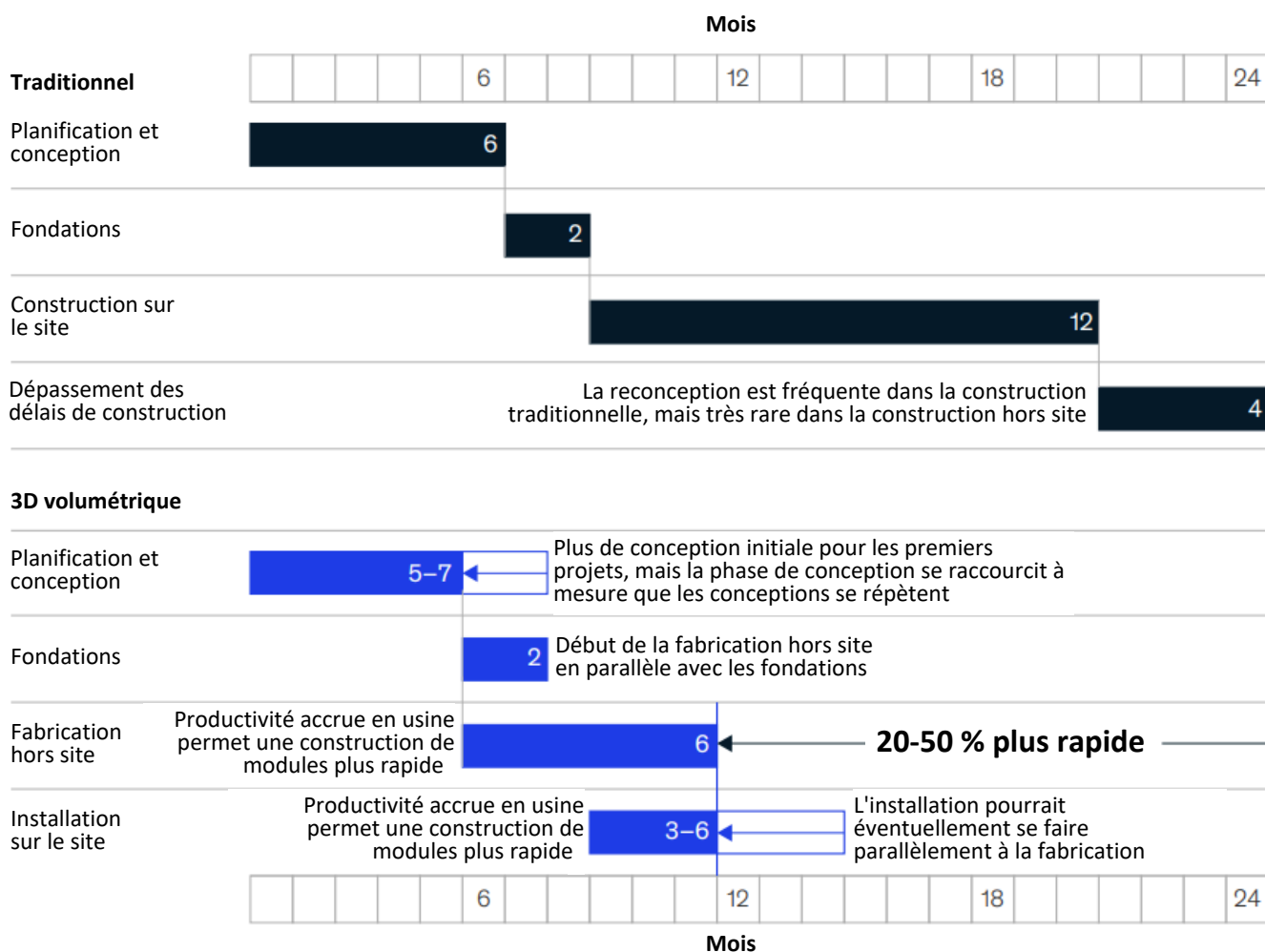
## Les pratiques actuelles de prêt privé et public s'alignent rarement sur ce flux de projet, ce qui limite considérablement la disponibilité des options de financement.

Malheureusement, l'industrie de l'assurance facture des primes pour les risques associés aux différentes formes de construction modulaire. Il existe des risques liés au financement, aux calendriers de paiement et aux obligations contractuelles entre les différentes parties impliquées dans le projet. Les coûts d'assurance peuvent être atténués par une communication précoce entre les parties et l'intégration d'ingénieurs en sécurité incendie dans l'équipe de projet (Mitchell, 2021).

**Figure 6. Chronologie de la construction traditionnelle et la chronologie volumétrique 3D hors site**

L'utilisation de modules volumétriques en 3D permet de réduire l'échéancier de 20 à 50 %.

Exemple de durée de construction d'un projet d'appartement, traditionnelle ou volumétrique 3D hors site, en mois.



Source: Bertram et al., 2019

Dans des États américains comme le Colorado, des programmes financiers spéciaux sont proposés pour encourager la construction modulaire. L'investissement de l'État est conçu pour faire progresser les méthodes de construction innovantes et répondre à la demande de logements (Office of the Governor, 2024). Lorsque ces programmes sont cohérents, ils garantissent la croissance, et éventuellement le regroupement, au sein du secteur.

## LES CONTRATS

Le processus de conception impliqué dans la construction modulaire exige des niveaux élevés de circulation de l'information entre tous les membres de l'équipe afin de garantir une résolution adéquate et efficace des problèmes (Mitchell, 2021). Pour ce faire, les contrats doivent être établis de manière à englober la mise en œuvre lors de différentes étapes de production, tels que la construction, l'assemblage et l'installation (Arashpour, 2020).

Smith et Rice (2015) reconnaissent la nécessité pour toutes les parties prenantes de bien connaître les exigences du projet longtemps avant le début de la construction. La construction modulaire exige une approche non linéaire des contrats de construction, ce qui constitue un alignement et un processus différents des contrats traditionnels de conception-soumission-construction. Mitchell (2021) indique que les modèles de réalisation des projets intégrés (RPI), P3 ou Design-Build sont plus efficaces, car ils impliquent la collaboration du propriétaire, de l'équipe de conception, des entrepreneurs, des fabricants et des constructeurs dès le début du processus de conception. La RPI optimise les processus de construction hors site en approfondissant les détails au cours du processus de développement de la conception : des budgets de construction fermes peuvent être élaborés et de nombreux risques typiques des projets de construction sur site peuvent être éliminés.

Les contrats de projet doivent clairement définir les responsabilités de tous les acteurs impliqués dans les différentes phases du projet, à savoir la fabrication, la livraison et la construction ou l'assemblage (HCR Law, 2024). Cela inclut les éléments relatifs à la propriété intellectuelle, les droits d'inspection dans l'usine et sur le site, l'assurance et les risques d'insolvabilité entre le propriétaire et le fabricant. En outre, les contrats doivent mentionner les paiements à effectuer au cours des différentes phases de la production et, entre autres, le transfert de propriété des modules, alors qu'ils sont encore en cours de construction dans l'usine le cas échéant (HCR Law, 2024).

***La construction modulaire exige une approche non linéaire des contrats de construction, ce qui constitue un alignement et un processus différents des contrats traditionnels de conception-soumission-construction.***



En 2020, ConsensusDocs Coalition, en collaboration avec Modular Building Institute (MBI) et d'autres leaders de l'industrie, a publié le ConsensusDocs 753 Standard Prefabricated Construction Contract dans lequel un constructeur, un entrepreneur général, un concepteur-constructeur ou un gestionnaire de construction passe un contrat avec un préfabriquant (ConsensusDocs, 2023). Il s'agit d'une solution « prête à l'emploi » pour traiter les aspects contractuels et juridiques importants du processus de construction hors site (ConsensusDocs, 2023). Le contrat peut être acheté sur le site web de ConsensusDocs à l'intention des entreprises de construction modulaire qui souhaitent comprendre le processus contractuel.

Les contrats intelligents sont un outil d'accord numérique utilisé par les entreprises de construction modulaire pour aider à financer efficacement les projets. Ces contrats combinent la technologie et la législation de manière stricte pour garantir l'exécution des paiements (Christie & Mante, 2022). Ils suivent une chaîne de commandement qui prend des informations de sources extérieures en temps réel, générant des résultats qui facilitent le processus de paiement intelligent (Christie & Mante, 2022). La clé du succès des contrats intelligents réside dans leurs mesures d'application cohérentes avec les systèmes juridiques établis dans la construction (Christie & Mante, 2022). Par exemple, le Royaume-Uni a modifié sa loi de 1996 concernant les subventions au logement, la construction et la régénération pour exiger l'utilisation de contrats SMART, ce qui facilite leur application et entraîne des conséquences réelles (Christie & Mante, 2022).

## LE CHOIX DU SITE

La construction modulaire ne requiert pas nécessairement autant de préparation du sous-sol ou de travaux sur le site (selon le type de module : en panneaux ou volumétrique, partiellement ou entièrement aménagé), mais elle nécessite éventuellement un stockage sur le site et de grandes grues pour déplacer les modules sur leur lieu d'installation. Les systèmes modulaires volumétriques nécessitent des gréements spéciaux plus lourds et des barres d'écartement. Pour que ces équipements aient une portée suffisante, les bâtiments doivent être construits sur des terrains plats et carrés, plutôt que sur des terrains en pente raide ou profonde (Mitchell, 2021). D'autres considérations relatives au site comprennent l'accessibilité des installations de stockage pour les modules, les lignes électriques aériennes, la largeur des routes et la possibilité d'une fermeture temporaire de rues. Malgré ces contraintes, les perturbations causées par la construction modulaire sont bien moindres par rapport aux méthodes de construction traditionnelles en raison de la durée d'installation plus courte (Figure 6) (Bertram et al. 2019). Par conséquent, le choix du site, dans les sites denses ou éloignés, doit être adapté à la méthode de construction.

## LA CONCEPTION

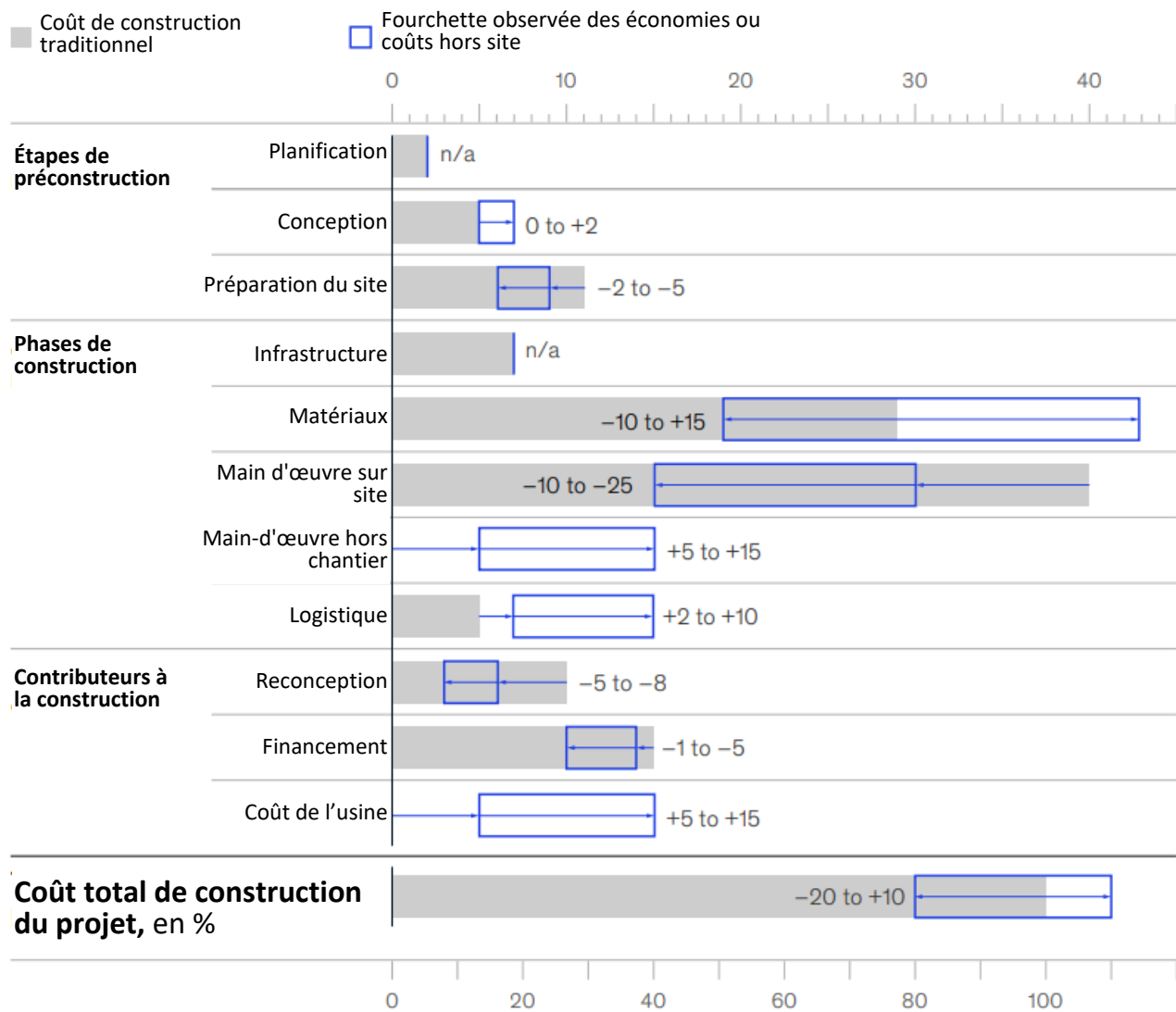
Le besoin de standardisation des modules contraste avec le désir de concevoir des bâtiments uniques et personnalisés, ce qui limite la créativité architecturale, la flexibilité et peut-être l'adéquation à certains types de projets (Harvard Business Review, 2023). La construction modulaire a eu tendance à être plus populaire pour les projets avec un niveau élevé de « reproductibilité » des agencements d'étages, des systèmes et des finitions ; par exemple, les hôtels, les logements supervisés et les logements pour étudiants. Pour respecter les aspirations à la singularité, on peut s'inspirer de

l'industrie automobile, où chaque modèle de voiture a une apparence et donne une sensation unique en raison des finitions, mais où le processus de conception maintient une chaîne de traitement constante, sans modifier la chaîne elle-même, pour fournir les caractéristiques personnalisées.

**Figure 7. Visualisation montrant les coûts de construction traditionnels et les économies ou coûts potentiels hors site**

Il y a une possibilité d'économies de 20 % – mais avec un risque d'augmentation des coûts pouvant atteindre 10 % si les économies sur la main-d'œuvre sont dépassées par les coûts logistiques ou des matériaux.

**Coût de la construction traditionnelle, % du total, et économies ou coûts potentiels hors site, décalage d'un point de pourcentage**



Source: Bertram et coll., 2019

## LA LOGISTIQUE ET LE TRANSPORT

Comme pour toutes les méthodes de construction, la chaîne d'approvisionnement et la logistique sont essentielles à la réussite et à la livraison des projets dans les délais impartis. Cependant, le transport de modules complets ou semi-complets est un obstacle spécifique associé à cette méthode de construction; une fois fabriqués, les modules doivent être acheminés au chantier de construction. Comme la fabrication hors site et les fondations sur site sont préparées simultanément, une logistique efficace est deux fois plus importante.

Smith et Rice (2015) soulignent le grand enjeu que représente la distance entre l'usine et le site du projet. Les camions chargés de modules volumétriques se déplacent beaucoup plus lentement, et les dommages causés par l'humidité pendant le transport ou l'entreposage peuvent constituer un risque (SCHL, 2021). De plus, le coût des matériaux augmente considérablement entre la construction modulaire et la construction traditionnelle, car des matériaux supplémentaires sont nécessaires pour la structure et le transport à l'abri des intempéries. Ces obstacles se répercutent à la fois sur les sites étroits des grandes villes et sur les sites éloignés des usines. Afin de minimiser les coûts, les fabricants doivent prendre en compte tous les éléments en lien avec le transport et la réglementation dans la conception et l'ingénierie (SCHL, 2021; Mitchell, 2021), et les promoteurs doivent tenir compte de la distance par rapport au site du projet lorsqu'ils passent des contrats avec les fabricants. À terme, à mesure que la construction modulaire gagnera en popularité, les usines locales se multiplieront, ce qui réduira les distances à parcourir.

Les éléments modulaires peuvent être volumineux et nécessiter un transport, une manutention (permis spéciaux et véhicules au-delà d'une certaine taille) et un stockage spécialisés. Cela est particulièrement difficile si le transport traverse des frontières provinciales ou internationales. La méconnaissance des réglementations provinciales en matière de transport concernant les charges larges ou lourdes peut perturber les déplacements (Azghandi-Roshnavand, 2019). Ces préoccupations peuvent être prises en compte par une étude détaillée des itinéraires de voyage, c'est-à-dire en vérifiant les largeurs, les passages souterrains, les tunnels et les courbes (Bellini et coll., 2023) et par un plan de projet détaillé qui achemine les modules sur le site préparé lorsqu'ils sont prêts à être montés (Niu et coll., 2019). Dans la mesure du possible, les projets devraient utiliser les infrastructures existantes, comme une industrie du transport maritime bien établie (McKinsey & Company, 2020).

Les coûts de logistique et de transport peuvent être minimisés si les fabricants optimisent les livraisons et misent sur les économies d'échelle, c'est-à-dire achètent toutes les unités qui passent par l'usine plutôt que seulement des projets individuels (McKinsey & Company, 2019). En outre, les meilleures pratiques suggèrent que les contrats de construction devraient inclure tous les risques et délais relatifs au transport, à la manutention et au stockage (HCR Law, 2024).

Les leviers municipaux peuvent faciliter le processus. En 2023, la publication de la norme canadienne CSA Z250:21 :Construction modulaire volumétrique — Guide des processus de conformité et d'adaptation visait à compléter la norme CSA A277, en mettant l'accent sur le processus et les procédures « avant et après » la phase de fabrication, c'est-à-dire en définissant le processus d'approbation et en garantissant la sécurité de la livraison des bâtiments modulaires volumétriques.

La conformité à la norme protège les projets, car elle inclut des considérations sur l'imperméabilisation temporaire, les réparations, le levage et les plans de placement détaillés (CSAGroup, 2023).

## LA NUMÉRISATION DANS LA CONCEPTION

L'absence de technologie précise de planification entraîne de nombreuses inefficacités dans le secteur de la construction, ce qui expose les projets à des risques lorsqu'ils passent de la phase de conception à la phase d'assemblage. Les logiciels de modélisation des données du bâtiment (MDB) offrent la précision nécessaire à l'industrie de la conception de la construction, bien que l'industrie ait été lente à les adopter (Gledson, 2021). La MDB est l'une des méthodes de construction les plus efficaces issues des interventions de conception intelligente : elle crée un ensemble de données informatiques intelligentes qui peuvent être partagées par les professionnels au sein des équipes de conception et de construction. Elle intègre la conception, les matériaux et la coordination avec les détails de la mécanique, de l'électricité et de la plomberie (Korman et coll., 2011). La technologie MDB 4D intègre la MDB 3D avec des informations temporelles telles que les dates de début et de fin des activités de construction, le séquençage et les dépendances (Gledson, 2021). On peut y intégrer les données géospatiales (SIG) telles que le projet 3D, le modèle 3D de la ville, le réseau routier et les couches d'itinéraires logistiques, afin de gérer les risques associés à toutes les phases du projet, de la conception à l'assemblage (Niu et coll., 2019). En outre, la MDB peut relier l'analyse des coûts et le cycle de vie (Korman et coll., 2011). L'intégration de ces technologies peut ainsi aider à cartographier la logistique complexe de la construction modulaire.

Au Canada, la MDB est lente à émerger, car l'industrie lui est hostile en raison des coûts d'investissement initiaux élevés, du manque de compétences ou de connaissances, de l'absence de lignes directrices et du manque de formation (Nasrazadani et coll., 2023). Contrairement à d'autres pays du monde, le Canada n'a pas de mandat gouvernemental concernant son utilisation, ce qui entraîne un manque d'engouement dans l'industrie du bâtiment (Nasrazadani et coll., 2023). Son utilisation est également mal répartie entre les entreprises d'architecture, d'ingénierie et de construction, ce qui entrave la collaboration entre ces secteurs. L'incohérence des formats de dessins de conception sur le terrain entraîne des problèmes de visualisation, de détection des inférences, d'ambiguïté sur les dimensions et la constructibilité de la conception originale (Nasrazadani et coll., 2023).

***Les logiciels de modélisation des données du bâtiment (MDB) offrent la précision nécessaire à l'industrie de la conception de la construction, bien que l'industrie ait été lente à les adopter***

En raison de l'utilisation privilégiée de la MDB, le Royaume-Uni a créé la norme BS 7000-4 : 2013, qui est un document détaillant les normes britanniques sur les systèmes de gestion de la conception (BS 7000-4 : 2013 | 31 Dec 2013 | BSI Knowledge, 2013). Les programmes nationaux de MDB sont dirigés par le ministère des Affaires, de l'Énergie et de la Stratégie industrielle, le groupe de travail MDB du gouvernement britannique et Digital Built Britain (Hairstans & Duncheva, 2020). Le passage à la MDB indique une évolution vers la numérisation de l'aide à la construction au Royaume-Uni afin d'améliorer l'efficacité et l'efficience de la production des bâtiments, ce qui permet de multiplier les possibilités de croissance des partenariats dans le secteur technologique (Hairstans & Duncheva, 2020).

McKinsey & Company (2019) présentent un exemple de réussite avec LendLease, société immobilière australienne qui s'appuie sur la numérisation (l'utilisation des données, leur analyse et l'emploi de l'IA). Elle crée un « jumeau numérique » c'est-à-dire que chaque détail du projet, y compris les comportements et les processus impliqués dans la construction, est créé numériquement en amont de la construction. Cet outil aide les projets de construction en accélérant et en automatisant les processus de conception, de production et d'exploitation, afin d'atteindre une efficacité industrielle et de favoriser la collaboration.

La plateforme numérique 3D open source Speckle est un autre exemple d'utilisation de la MDB. Cette entreprise britannique a pour objectif de rationaliser le processus de conception des logiciels 3D grâce à la collaboration en temps réel, à la gestion des données, à la gestion des versions et à l'automatisation (AEC Systems Ltd., 2021). Speckle permet aux concepteurs d'extraire et d'échanger les données de leurs dessins en 3D d'un logiciel à l'autre, ce qui facilite la collaboration entre diverses entreprises et organisations (AEC Systems Ltd., 2021). Le partage de toute conception informatique est plus facile à gérer par la conversion des fichiers et l'élimination des divergences entre les logiciels.

## 3. EXEMPLES DE RÉUSSITES

Cette section s'appuie sur des études de cas pour identifier les stratégies clés qui facilitent la réussite des projets de logements modulaires.

### ÉQUILIBRER LA STANDARDISATION ET LA PERSONNALISATION

L'équilibre entre la standardisation et la personnalisation est essentiel pour faire évoluer l'habitat modulaire. Si la construction modulaire est intrinsèquement ancrée dans le concept de reproduction et de standardisation, elle doit également répondre aux divers besoins et préférences des acheteurs individuels. Une personnalisation excessive peut nuire à une stratégie commerciale, mais une personnalisation insuffisante peut également entraver la réussite d'un projet. L'approche adoptée par Lindbäcks illustre cet équilibre en utilisant 80 % de composants standardisés et 20 % d'éléments personnalisés, ce qui permet de rationaliser la production tout en autorisant les adaptations nécessaires en termes de conception (Lindbäck, 2017).

Lindbäcks met en œuvre ce mélange stratégique pour maintenir l'efficacité tout en offrant un niveau de personnalisation nécessaire à la réussite des projets. Elle favorise un engagement précoce auprès d'architectes externes et crée des manuels architecturaux complets pour s'assurer que tous les membres de l'équipe sont en harmonie dès le départ (Lindbäck, 2017). Cela minimise les ajustements coûteux de conception plus tard dans le projet, soulignant l'importance d'une planification précoce et détaillée dans la construction modulaire.

Il est essentiel de bien comprendre le public cible au moyen d'une étude de marché préalable, pour développer des options de modules standardisés qui répondent aux besoins communs, tout en permettant la personnalisation. Les fabricants proposent désormais des modules préconçus avec différentes options d'agencement, de taille et de fonctionnalités, ce qui permet aux acheteurs de sélectionner des modules adaptés à leurs besoins en matière de chambres à coucher, de salles de bains, d'espaces de vie et de caractéristiques supplémentaires telles que des balcons ou des bureaux à domicile (Lindbäck, 2017). Cet équilibre garantit que les maisons modulaires sont non seulement abordables et rapides à construire, mais aussi attrayantes et adaptables aux goûts de chacun.

### PARTENARIATS STRATÉGIQUES

De solides partenariats industriels sont essentiels pour assurer la réussite de l'expansion de l'habitat modulaire. Au Japon, le succès de la collaboration entre les parties prenantes s'est traduit, en 1963, par la création de l'Association des fournisseurs et fabricants de constructions préfabriquées (AFCP), qui est devenue une association incorporée sous l'autorité conjointe du ministère japonais de l'Aménagement du territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme, et du ministère de l'Économie, du Commerce et de l'Industrie. Dans le cadre de son mandat, l'AFCP supervise des sous-comités sur différents aspects, notamment les normes de construction, la conception, l'assurance et l'éducation. La collaboration entre les organismes publics, le secteur privé et les établissements

d'enseignement a permis d'élaborer des politiques et des incitatifs qui favorisent l'innovation et l'adoption de la construction modulaire.

Quant à la Suède, elle établit un partenariat stratégique par le biais de relations entre les associations de l'industrie du bois et du béton. L'Association suédoise du bois compte 32 entreprises qui travaillent dans le secteur de la préfabrication, représentant 75 % des habitations individuelles (Steinhardt et coll., 2020). L'Association suédoise du béton compte 27 entreprises travaillant dans la construction préfabriquée et représente 90 % des bâtiments multirésidentiels nouvellement construits (Steinhardt et coll., 2020). Ensemble, ces associations collaborent pour améliorer l'innovation dans les systèmes de production (Steinhardt et coll., 2020). Ce partenariat favorise de nouvelles méthodes de construction modulaire et crée de solides voies de collaboration entre les entreprises qui recherchent diverses méthodes concrètes de construction.

En outre, le projet BoKlok on the Brook à Bristol, au Royaume-Uni, est un excellent exemple de la manière dont il est possible de développer efficacement l'habitat modulaire. L'initiative BoKlok, lancée à l'origine en Suède en 1996 par Skanska et IKEA, s'est propagée avec succès au marché britannique, démontrant l'efficacité de leur partenariat stratégique pour surmonter les défis associés au développement de l'habitat modulaire.

L'objectif était de fournir des logements abordables, durables et bien conçus en utilisant des techniques de construction modulaire. Leur expertise combinée, les prouesses de construction de Skanska et les capacités de conception et de logistique d'IKEA, a permis de créer un cadre solide pour la livraison de logements de qualité à grande échelle. Le projet BoKlok on the Brook à Bristol, qui vise à créer 211 logements, est une manifestation de ce partenariat de longue date.

L'un de ses principaux avantages réside dans la conception innovante et l'efficacité de la construction. La participation d'IKEA apporte une philosophie de conception unique axée sur la simplicité, la fonctionnalité et l'accessibilité financière. L'expérience d'IKEA en matière de conception de produits garantit que les logements sont esthétiques, conviviaux et rentables. La standardisation des composants facilitée par l'approche d'IKEA signifie une construction plus facile et plus rapide, permettant la production en masse de composants qui réduisent les coûts et les délais. D'autre part, Skanska apporte une connaissance approfondie de la gestion de la construction à grande échelle, en veillant à ce que les projets respectent des normes strictes en matière de qualité et de sécurité. Son expertise permet de s'y retrouver dans les réglementations et les normes de construction complexes, ce qui garantit une exécution rigoureuse du projet.

## UNE PLANIFICATION ET UNE COORDINATION RIGOUREUSES

La rigueur de la planification et de la coordination est cruciale dans les projets de logements modulaires, en particulier dans les environnements urbains où l'espace est limité et la logistique complexe. Le projet Linzer Strasse à Vienne, en Autriche, a mis en évidence l'importance d'une planification et d'une coordination méticuleuses. L'utilisation du bois lamellé-croisé de Binderholz (CLT BBS), un module de bois massif multicouche préfabriqué employé pour les murs, les plafonds et

les toits dans la construction, a permis une rationalisation de l'utilisation de l'espace et du processus de construction. Des temps de construction courts, un degré élevé de préfabrication, des détails simples et des épaisseurs d'éléments relativement faibles du CLT BBS ont contribué à créer un processus plus rapide et plus souple pour le transport des matériaux sur le site (Binderholz, 2020). Ce projet a démontré qu'une planification minutieuse et une utilisation innovante des matériaux peuvent permettre de surmonter les contraintes spatiales et d'optimiser les solutions de logement urbain.

Le projet HoHo Vienna souligne également l'importance d'une planification et d'une coordination rigoureuses. En tant que l'un des plus hauts bâtiments en bois au monde, HoHo Vienna a nécessité une planification logistique méticuleuse. L'assemblage des éléments en bois, qui comprenait 800 supports en bois lamellé collés et 14400 mètres carrés de bois lamellé-croisé pour les murs extérieurs, a été exécuté avec une efficacité remarquable. L'assemblage du bois de chaque étage n'a pris qu'une dizaine de jours, même dans des conditions hivernales difficiles. Des stratégies logistiques avancées ont joué un rôle crucial, notamment en livrant des éléments pré-équipés de fenêtres et en minimisant les trajets vers le site. Grâce à une logistique sophistiquée, tous les composants ont été livrés de Carinthie à Seestadt (305 km) en seulement 50 trajets de camion (HoHo Vienna, 2021). Cette approche a permis non seulement de rationaliser le processus de construction, mais aussi de réduire l'impact environnemental du projet, démontrant ainsi que la rigueur de la planification et de la coordination peut faciliter une expansion efficace des logements modulaires.

Les enseignements tirés de ces projets démontrent l'importance d'une planification et d'une logistique rigoureuses pour les projets de construction modulaires de toutes tailles et de toutes envergures.



## 4. RECOMMANDATIONS

Les recommandations pour étendre la pratique des développeurs comprennent des changements au niveau des projets et de l'organisation, ainsi que la formation de partenariats avec l'industrie afin de promouvoir un changement global.

### QUANT AU PROJET

Le choix du site doit être spécifique au type de construction modulaire (panneaux ou volume), en gardant à l'esprit toute la logistique et le transport associés au projet. Des études détaillées doivent être réalisées sur les itinéraires de transport appropriés et les exigences réglementaires pour le déplacement de grands éléments modulaires. Il faut planifier les besoins de transport et de stockage spécialisés, pour des projets situés dans des zones éloignées ou densément peuplées.

L'accent doit être mis sur l'adoption d'une approche RPI, c'est-à-dire impliquer les parties prenantes dès le début du cycle de vie du projet afin de favoriser la collaboration et d'optimiser le processus de construction hors site. L'approche RPI intègre des spécialistes juridiques, financiers et réglementaires dans l'équipe de projet, ainsi que le concepteur, le propriétaire et les consultants pour élaborer des contrats spécifiques qui répondent aux défis propres au projet. Les contrats qui en découlent peuvent automatiser et faire respecter les conditions de paiement, ce qui garantit la stabilité financière et la confiance entre toutes les parties. Les contrats garantissent des transferts de fonds et de propriété en douceur lorsqu'ils sont alignés sur les grandes étapes spécifiques au projet.

### QUANT À L'ORGANISATION

Investir dans la technologie et l'automatisation, comme la MDB et Speckle, permettra d'améliorer la productivité et l'efficacité dans la construction modulaire. Ces outils permettent de visualiser et d'optimiser les détails du projet avant le début de la fabrication, réduisant les erreurs et les reprises. La MDB permet de planifier avec précision et de réduire les risques liés à une mauvaise communication entre les parties prenantes. Speckle, quant à lui, peut faciliter la communication et l'intégration entre les différentes applications d'ingénierie, d'architecture et de construction utilisées dans le cycle de vie des bâtiments modulaires. L'utilisation de ce logiciel améliorera la communication entre les fabricants d'éléments de construction, les promoteurs et les équipes de construction locales, et accélérera le calendrier de réalisation.

Le couplage de ces outils techniques avec des outils financiers et de paiement automatisés, tels que la technologie intelligente, peut garantir au fabricant modulaire des flux de trésorerie et une stabilisation financière en temps voulu. Ces outils financiers, s'ils s'avèrent utiles pour les développeurs, peuvent être intégrés dans les contrats avec les clients.

Pour réduire les risques associés aux contrats, il peut être bénéfique de se référer à ConsensusDoc comme point de départ de la conception de contrats spécifiques à la construction modulaire.

## QUANT À L'INDUSTRIE

Des initiatives à l'échelle de l'industrie visant à développer des systèmes spécialisés pour la construction modulaire seront cruciales pour répondre à la demande croissante de logements abordables et de haute qualité. Par exemple, des ConsensusDocs personnalisés pour le Canada pourraient être bénéfiques à l'ensemble de l'industrie et des organismes intéressés.

Les organisations de logements abordables peuvent tirer parti de leur position pour plaider en faveur d'une harmonisation aux niveaux provincial et national afin de faciliter l'adoption généralisée de la construction modulaire. Cette intervention réclamerait:

**Des codes de construction normalisés:** Le code national de la construction doit être mis à jour pour être plus adaptable et transférable, en réduisant les complexités associées aux variations régionales, afin d'encourager l'expansion de la construction modulaire. Les normes nationales et leur application peuvent régulariser les pratiques de construction.

**Des structures de financement et des programmes de soutien:** Revendiquer des programmes gouvernementaux continus qui financent des projets modulaires (tels que la poursuite de l'Initiative pour la création rapide de logements, la création d'autres initiatives à portée plus large, ou suivre l'exemple du Colorado) sera essentiel pour aider l'industrie à prendre son élan. Ces programmes peuvent faciliter les commandes importantes de modules, les conceptions préapprouvées, la formation professionnelle et les investissements dans l'infrastructure numérique.

**Une réglementation des transports:** Comme le recommande la SCHL (2021), une norme nationale pour la logistique du transport doit être établie, afin de faciliter la circulation des composants modulaires entre les différentes autorités du pays.

# NOTES

1. Le programme, régulé par le gouvernement suédois, a établi et accompli un objectif de construire un million de nouveaux logements sur une période de dix ans, entre 1965 et 1974.

2. Certains documents suggèrent que la Suède possède 45 % de la construction industrialisée (Mari, 2024), tandis que d'autres citent 45 % comme part totale du logement construit hors site en Suède, en Finlande et en Norvège (McKinsey & Company, 2019).

3. L'Agence pour la renaissance urbaine (UR) est une organisation semi-gouvernementale créée en 1955 sous le nom de Japan Housing Corporation pour s'occuper des questions d'urbanisme et de logement au Japon ([UR n.d.](#)).

4. La certification CSA A277 est exigée en Alberta, au Québec et au Yukon, mais est seulement reconnue ou acceptée dans les autres provinces ([CHBA n.d.](#)).

# BIBLIOGRAPHY

AEC Systems Ltd. "About." *Speckle - The Platform for 3D Data*. January 30, 2021. <https://speckle.systems/about/>.

Arashpour, M. "Design for Manufacture and Assembly in Offsite Construction and Relationship with Concurrent Engineering." *In Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction*, 1st ed., Vol. 1, 111–128. Routledge, 2020. <https://doi.org/10.1201/9781315147321-6>.

Azghandi Roshnavand, M. "Smart Contracts and Payment in the UK Construction: The Legal Framework." Master's thesis, Concordia University, 2019. [https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/985955/13/Azghandi%20Roshnavand\\_MSC\\_W2019.pdf](https://spectrum.library.concordia.ca/id/eprint/985955/13/Azghandi%20Roshnavand_MSC_W2019.pdf).

Bayliss, S., and R. Bergin. *The Modular Housing Handbook*. RIBA Publishing, 2020. <https://books.scholarsportal.info/uri/ebooks/ebooks6/taylorandfrancis6/2020-11-10/1/9781003106296>.

Bellini, O. E., M. Arcieri, and M. T. Gullace. "Off-Site Modular Housing Systems – Expeditious Solutions for Student Residence." *AGATHÓN | International Journal of Architecture, Art and Design* 14 (2023): 152–163. <https://doi.org/10.19229/2464-9309/14122023>.

Bertram, N., S. Fuchs, J. Mischke, R. Palter, G. Strube, and L. Woetzel. "Modular Construction: From Projects to Products." *McKinsey & Company*, 2019. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/modular-construction-from-projects-to-products>.

BinderHolz. "Residential Building Linzer Straße, Vienna: Austria." Accessed October 18, 2024. <https://www.binderholz.com/en-us/mass-timber-solutions/residential-building-linzer-strasse-vienna-austria/>.

Blanco, J. L., D. Dauphinais, R. Palter, and G. Hovnanian. "Modular Building Systems Could Address Many of the US Construction Industry's Current Woes, but the Sector Needs to Remodel Itself First." *McKinsey & Company*, May 10, 2023. <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/making-modular-construction-fit>.

"BoKlok Växthuset—Nybyggda Lägenheter i Helsingborg." *BoKlok*. Accessed June 13, 2024. <https://www.boklok.se/kop-bostad/sok-bostad/boklok-vaxthuset/>.

Brookfield, Kristin. "Barriers to Prefabrication and Modular Construction: Housing." International Housing Association, 2022. [https://www.internationalhousingassociation.org/fileUpload\\_details.aspx?contentTypeID=3&contentID=282941&subContentID=769009&channelID=38488](https://www.internationalhousingassociation.org/fileUpload_details.aspx?contentTypeID=3&contentID=282941&subContentID=769009&channelID=38488).

BSI Knowledge. BS 7000-4:2013. December 31, 2013. <https://knowledge.bsigroup.com/products/design-management-systems-guide-to-managing-design-in-construction?version=standard>.

Buntrock, Dana. "Prefabricated Housing in Japan." In *Offsite Architecture*, 1st ed., 190–213. Abingdon: Taylor & Francis Group, 2017. <https://doi.org/10.4324/9781315743332-12>.

Burgess, Gemma, Michael Jones, and Kathryn Muir. *Housing Digital Built Britain Network Position Paper 2: What Is the Role of Offsite Housing Manufacture in a Digital Built Britain?* Cambridge: University of Cambridge, September 2018. [https://www.cdbb.cam.ac.uk/files/2\\_position\\_paper\\_off-site\\_housing\\_manufacture\\_web.pdf](https://www.cdbb.cam.ac.uk/files/2_position_paper_off-site_housing_manufacture_web.pdf).

Christie, D. S., and J. Mante. "Smart Contracts and Payment in the UK Construction: The Legal Framework." In *Blockchain for Construction*, edited by T. Dounas and D. Lombardi, 167–184. Springer Nature, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-3759-0\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-19-3759-0_9).

ConsensusDocs. "All Association Guidebook." August 30, 2023. <https://www.consensusdocs.org/wp-content/uploads/2023/08/ConsensusDocs-All-Association-Guidebook-Aug-30-2023.pdf>.

Constructing Excellence. "Innovation: Gateshead Innovation Village." December 22, 2020. <https://constructingexcellence.org.uk/home-group-gateshead-innovation-village/>.

Dragicevic, N., and K. Riaz. "Seizing the Modular Construction Opportunity." Canadian Standards Association, 2024. [https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Modular-Opportunity-PublicPolicySnapshot-EN\\_Accessible.pdf](https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-Modular-Opportunity-PublicPolicySnapshot-EN_Accessible.pdf).

"Environmental, Social, and Governance (ESG) in Modular Construction." Modular Building Institute, 2024. <https://www.modular.org/governance/>.

Erlich, Mark. "Why Modular Building Hasn't Revolutionized Construction." *Harvard Business Review*, published December 21, 2023. Accessed October 18, 2024. <https://hbr.org/2023/12/why-modular-building-hasnt-revolutionized-construction>.

Ferdous, W., Y. Bai, T. D. Ngo, A. Manalo, and P. Mendis. "New Advancements, Challenges and Opportunities of Multi-Storey Modular Buildings – A State-of-the-Art Review." *Engineering Structures* 183 (2019): 883–893. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.01.061>.

Ferdous, W., A. Manalo, A. Sharda, Y. Bai, T. D. Ngo, and P. Mendis. "Construction Industry Transformation Through Modular Methods." In *Innovation in Construction: A Practical Guide to Transforming the Construction Industry*, edited by S. H. Ghaffar, P. Mullett, E. Pei, and J. Roberts, 259–276. Springer International Publishing, 2022. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-95798-8\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-95798-8_11).

"First Store in Stockholm Paved New Roads—IKEA Museum." WordPress På Azure, 2024. <https://ikeamuseum.com/en/explore/the-story-of-ikea/ikea-in-stockholm/>.

Gledson, B. "Enhanced Model of the Innovation-Decision Process for Modular-Technological-Process Innovations in Construction." *Construction Innovation* 22, no. 4 (2022): 1085–1103. <https://doi.org/10.1108/14714172210708873>.

Goodman, L. S. "Confronting the Housing Supply Shortage: Policy Options." *Business Economics* 58, no. 3 (2023): 158–165. <https://doi.org/10.1057/s11369-023-00326-2>.

Goulding, J. S., and F. P. Rahimian, eds. *Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction: People, Process and Technology*. 1st ed. Routledge, 2019. <https://doi.org/10.1201/9781315147321>.

Hairstans, R., and T. A. Duncheva. "Core Offsite Manufacture Industry Drivers." In *Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction*, 1st ed., Vol. 1, 257–284. Routledge, 2020. <https://doi.org/10.1201/9781315147321-11>.

HCR Law. "Modular Construction – Some Legal Considerations." Accessed October 18, 2024. <https://www.hcrlaw.com/blog/modular-construction-some-legal-considerations>.

HoHo Wien. "Information." September 14, 2021. <https://www.hoho-wien.at/en/information/>.

Jaksch, S., A. Franke, D. Österreicher, and M. Treberspurg. "A Systematic Approach to Sustainable Urban Densification Using Prefabricated Timber-based Attic Extension Modules." *Energy Procedia* 96 (September 2016): 638–649. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.121>.

Lessing, J., and L. Stehn. *Industrialised House Building: Concepts and Its Application in Sweden*. 1st ed. Vol. 1. Routledge, 2020. <https://doi.org/10.1201/9781315147321-5>.

Lindbäck, S. "Efficient Production and Assembly of Customer-Specific Multi-Storey Houses from Space Modules with Architectural Freedom." 2017. [https://events.forum-holzbau.com/pdf/28\\_IHF2017\\_Lindbaeck.pdf](https://events.forum-holzbau.com/pdf/28_IHF2017_Lindbaeck.pdf).

Liu, Y., C. Mao, and X. Wang. "Offsite Construction Driving Forces: A Critical Reflection of Hofstede's National Culture Model." In *Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction*. Routledge, 2019.

Love, P. E. D., D. J. Edwards, S. Han, and Y. M. Goh. "Design Error Reduction: Toward the Effective Utilization of Building Information Modeling." *Research in Engineering Design* 22, no. 3 (2011): 173–187.

Maleki, B., M. del M. Casanovas-Rubio, K. D. Tsavdaridis, and A. de la Fuente Antequera. "Integrated Value Model for Sustainable Assessment of Modular Residential Towers: Case Study: Ten Degrees Croydon and Apex House in London." *Sustainability* 16, no. 2 (2024): Article 2. <https://doi.org/10.3390/su16020497>.

Manley, K., and K. Widén. “Prefabricated Housing Firms in Japan and Sweden: Learning from Leading Countries.” In *Offsite Production and Manufacturing for Innovative Construction*. Routledge, 2019. <https://doi.org/10.1201/9781315147321>.

Mari, F. “How an American Dream of Housing Became a Reality in Sweden.” *The New York Times*, June 8, 2024. <https://www.nytimes.com/2024/06/08/headway/how-an-american-dream-of-housing-became-a-reality-in-sweden.html>.

McKinsey & Company. “Voices on Infrastructure: Scaling Modular Construction.” September 2019. <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business%20functions/operations/our%20insights/voices%20on%20infrastructure%20scaling%20modular%20construction/gii-voices-sept-2019.pdf>.

Mitchell, C. “State of Prefabrication in Canada: A Market Study of Mass Timber, Panels, and Volumetric Modular Construction.” Forestry Innovation Investment, 2021. <https://static1.squarespace.com/static/5f7cb04329e107165b649ccc/t/6261bf54edcd29756a7241ef/1650573145289/STATE+OF+PREFABRICATION+IN+CANADA+-+April+2022.pdf>.

Modular Construction Council. “Canadian Home Builders’ Association.” 2024. [https://og.chba.ca/CHBA/CommitteesCouncils/Modular\\_Construction\\_Council/CHBA/CommitteesCouncils/Modular\\_Construction\\_Council.aspx?hkey=8d3e09e4-d034-464f-b3d6-4a4bbd2c621a](https://og.chba.ca/CHBA/CommitteesCouncils/Modular_Construction_Council/CHBA/CommitteesCouncils/Modular_Construction_Council.aspx?hkey=8d3e09e4-d034-464f-b3d6-4a4bbd2c621a).

Murray-Parkes, J., Y. Bai, A. Styles, and A. Wang. *Handbook for the Design of Modular Structures*. Monash University, 2017. <https://construye2025.cl/wp-content/uploads/2022/07/Handbook-for-the-design-of-modular-structures-Monash-University.pdf>.

Nasrazadani, H., K. Shahi, A. Shahi, and B. McCabe. “Building Information Modeling in Canada: A Multidisciplinary Practical Analysis.” In *Proceedings of the Canadian Society of Civil Engineering Annual Conference 2021*, edited by S. Walbridge et al., 81–92. Springer Nature, 2023. [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1029-6\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1029-6_7).

Niu, S., Y. Yang, and W. Pan. “Logistics Planning and Visualization of Modular Integrated Construction Projects Based on BIM-GIS Integration and Vehicle Routing Algorithm.” In *Modular and Offsite Construction (MOC) Summit Proceedings*, 579–586. 2019. <https://journalofindustrializedconstruction.com/index.php/mocs/article/view/141/139>.

Office of the Governor. “More Housing Now: Gov. Polis Announces Upcoming Proposition 123 Funds Will Prioritize Modular and Innovative Housing Projects.” Colorado Governor Jared Polis, July 1, 2024. <https://www.colorado.gov/governor/news/more-housing-now-gov-polis-announces-upcoming-proposition-123-funds-will-prioritize-modular>.

Österreicher, D., T. Fischer, and M. Huber-Humer. “Temporary Housing Environments in Urban Areas – Challenges and Key Findings for Implementation.” *MATEC Web of Conferences* 396 (2024): 17003. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202439617003>.

“Part I Industry 4.0 and Drivers for Change.” In *Innovation in Construction*. Switzerland: Springer International Publishing AG, 2022.

Poirier, E., A. J. Arar, S. Staub-French, P. Zadeh, and D. Bhonde. “Investigating Factors Leading to IPD Project Success in Canada.” Integrated Project Delivery Alliance, 2022. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.30076.21124>.

Schibline, A. “Modular: Homes of Future’s Past?” November 2021. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.24639.84640>.

Sekisui Chemical Co., Ltd. “Design & Land.” 2024. <https://www.sekisuiheim.com/safeandsound/sgmhy-lead-town/hs-sgmhy/design.html>.

Smith, R. E., and T. Rice. “Permanent Modular Construction: Process, Practice, Performance.” Integrated Technology in Architecture Center, College of Architecture and Planning, University of Utah, 2015. [https://www.meehleis.com/wp-content/uploads/2015/05/2015\\_Off-Site\\_PMC\\_Report-Ryan-Smith.pdf](https://www.meehleis.com/wp-content/uploads/2015/05/2015_Off-Site_PMC_Report-Ryan-Smith.pdf).

Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). "Building Housing Quickly When It Matters Most." 2020. <https://www.cmhc-schl.gc.ca/blog/2020-housing-observer/building-housing-quickly-when-matters-most>.

Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL). "Key Lessons from Modular Housing Across Canada." 2021. <https://www.cmhc-schl.gc.ca/nhs/nhs-project-profiles/2021-nhs-projects/key-lessons-modular-housing-across-canada>.

Steinhardt, D., K. Manley, L. Bildsten, and K. Widen. “The Structure of Emergent Prefabricated Housing Industries: A Comparative Case Study of Australia and Sweden.” *Construction Management and Economics* 38, no. 6 (2020): 483–501. <https://doi.org/10.1080/01446193.2019.1588464>.

“Supporting Efficient, Safe and Affordable Modular Construction Practices through Standards.” Canadian Standards Association, 2023. [https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-ModularConstruction-CaseStudy-EN\\_Accessible.pdf](https://www.csagroup.org/wp-content/uploads/CSA-ModularConstruction-CaseStudy-EN_Accessible.pdf).

Walters, A. “Network—Housing Digital Built Britain.” July 5, 2018. [https://www.cdbb.cam.ac.uk/CDBBResearchBridgehead/Networks/2018Network\\_Housing](https://www.cdbb.cam.ac.uk/CDBBResearchBridgehead/Networks/2018Network_Housing).

Wilson, J. “Modular & Off-Site Construction Guide.” American Institute of Architects, November 30, 2023. <https://www.aia.org/resource-center/modular-site-construction>.





UNIVERSITY OF  
**TORONTO**

