

« Système de poutres sous-tendues en bois pré dimensionnées et facile à installer pour un immeuble commercial de faible hauteur en bois »

« Coop Store »

Préparé par « Simon Paquet, ing., Groupe Genius



Ce rapport a été réalisé dans le cadre du Programme d'innovation en construction bois

Mai 2025

Simon, Paquet, Ing., M.Sc.

Auteur

Ulysse, Martin, Ing., M.Sc.

Réviseur

Annie, Gosselin, Ing.f., Ph.D.

Approbateur

Avis de non responsabilité

Le contenu et les résultats de ce rapport sont produits et présentés par le promoteur du projet. Le ministère des Ressources Naturelles et des Forêts (MRNF), ainsi que le Plan pour une Économie Verte 2030 (PEV) ne sont donc pas responsables du contenu de ce document.

Table des matières

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude	3
2. Introduction	4
2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction.....	4
2.2 Description du projet de construction	4
2.2.1 Description du bâtiment innovant ou de la solution innovante	4
2.2.2 Échéancier global et durée	4
2.2.3 Budget global.....	4
2.2.4 Partenaires	5
2.2.5 Défis et risques généraux	5
3. Détails de l'étude	6
3.1 Introduction et hypothèses de départ.....	6
3.2 Objectifs	7
3.3 Méthodologie.....	12
3.4 Résultats et analyse	13
3.5 Conclusions.....	17
3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie	18
3.7 Recommandations	18
4. Bibliographie	19

1. Sommaire exécutif et synthèse de l'étude

Le présent sommaire exécutif porte sur le projet *COOP Store*, une nouvelle épicerie de proximité qui sera édifiée à Chisasibi, au cœur du territoire cri du Nord-du-Québec. Conçu par Quanta Architecture et doté d'un budget prévisionnel de 30 à 35 millions de dollars, l'édifice doit être construit en 2026, après deux années de conception réalisées en 2024-2025. Les conditions nordiques propres à Chisasibi – approvisionnement complexe, main-d'œuvre spécialisée limitée et rigueur climatique – ont fortement influencé les choix techniques.

L'élément distinctif du projet réside dans l'intégration d'un système de poutres sous-tendues en bois prédimensionné. Ce système, inédit à l'échelle commerciale québécoise, combine cinq innovations : des tables de prédimensionnement adaptables aux portées usuelles des commerces (20 à 60 pieds) ; des connecteurs et pièces « pre-engineered » facilitant l'assemblage ; un dispositif de mise en tension par élongation du poinçon central ; des indicateurs de tension assurant la justesse du post-tensionnement ; enfin, un assemblage suffisamment simple pour être exécuté par du personnel non expert, réduisant ainsi le temps de chantier.

L'étude comparative menée oppose cette solution sous-tendue à un système conventionnel de poutres lamellées-collées pleine section. D'un point de vue économique, les poutres sous-tendues affichent un surcoût d'environ 20 % à l'échelle des éléments principaux, dû à la quincaillerie spécialisée et à la préfabrication plus précise ; cependant, la répercussion sur le coût total du bâtiment demeure marginale (moins de 1 %). Sur le plan environnemental, si le volume de bois est réduit, l'emploi accru d'acier (tirants, ancrages) accroît l'empreinte carbone des poutres de près de 50 %, se traduisant par une hausse d'environ 10 % à l'échelle de la charpente. Malgré cet écart, la structure sous-tendue reste nettement moins émissive qu'une charpente tout acier, permettant d'éviter près de 221 tonnes d'équivalent CO₂.

En conclusion, le système de poutres sous-tendues se révèle techniquement viable et architectoniquement riche, mais son intérêt économique et environnemental dépend étroitement du contexte : répétitivité des travées, capacité de préfabrication et disponibilité de main-d'œuvre. L'équipe recommande donc une adoption sélective, projet par projet, et déconseille pour l'instant toute standardisation industrielle des composants. Lorsque les exigences de dégagement, de mise en valeur du bois et de remplacement de l'acier convergent, cette solution constitue néanmoins une alternative performante et élégante pour la construction commerciale de faible hauteur.

2. Introduction

2.1 Titre et lieu de réalisation du projet de construction

Cette étude concerne le projet nommé le « COOP Store » qui sera construit à Chisasibi chez les Cris du nord du Québec. Il s'agit d'un petit bâtiment commercial de type épicerie.

2.2 Description du projet de construction

2.2.1 Description de la solution innovante

La solution innovante est un système de poutres sous-tendues en bois prédimensionné, pour un immeuble commercial de faible hauteur en bois, pré-calculé et facile à installer.

Elle comporte les cinq innovations suivantes :

- Utilisation de poutres sous-tendues dans un système complet, avec des tables de prédimensionnement, associé à un ou plusieurs types de pontages.
- Développement d'un système de connecteurs et de pièces de poutres sous-tendues (pre-engineered).
- Assemblage et connecteur permettant la mise en tension du système sous-tendu par élongation du poinçon.
- Développement d'une méthode de post-tension avec des indicateurs de tensions atteintes.
- Assemblage sur site pouvant être réalisé facilement et par un non-expert.

2.2.2 Échéancier global et durée

La conception du bâtiment a été réalisée en 2024 et en 2025 et la construction se déroulera en 2026.

2.2.3 Budget global

Le budget global du bâtiment est de l'ordre de 30-35 million de dollars.

2.2.4 Partenaires

L'architecture a été réalisée par Quanta Architecture.

2.2.5 Défis et risques généraux

Les projets réalisés dans le nord du Québec présentent souvent des défis liés à l'approvisionnement en matériaux et à la disponibilité de la main-d'œuvre, en plus d'être confrontés à des températures extrêmes.

3. Détails de l'étude

3.1 Introduction et hypothèses de départ

Dans les bâtiments commerciaux de faible hauteur, les portées libres sont un paramètre déterminant pour l'organisation fonctionnelle des espaces et la réduction des éléments porteurs verticaux. Typiquement, les poutres principales couvrent généralement des portées variant de 20 à 60 pieds, selon l'usage, les contraintes architecturales et les objectifs d'optimisation des usages.

Les portées les plus courtes (20 à 30 pieds) sont fréquentes dans les bâtiments subdivisés ou à trame régulière, tandis que les portées intermédiaires (30 à 45 pieds) sont courantes pour les usages à aire ouverte. Des portées longues (45 à 60 pieds) sont également utilisées, notamment dans les entrepôts, commerces à grande surface et bâtiments nécessitant une grande flexibilité sans colonnes intérieures.

Ces portées sont généralement franchies au moyen de poutres en acier laminé (W), de poutres ajourées ou de treillis, intégrés à un système de pontage de tôle d'acier.

Dans une perspective où l'on cherche à substituer l'acier par le bois, le choix du bois comme matériau structurel s'appuie sur plusieurs avantages: une mise en oeuvre plus rapide sur le chantier, une bonne disponibilité locale des produits et un impact environnemental nettement plus faible que celui des matériaux conventionnels comme l'acier ou le béton. Toutefois, la résistance inférieure du bois entraîne généralement l'utilisation de sections plus importantes. Dans le contexte de hausse des coûts de la fibre de bois, cette réalité renforce la nécessité d'optimiser les solutions structurales. L'atteinte de grandes portées avec des éléments en bois impose ainsi une conception rigoureuse, à la fois sur le plan géométrique et sur celui des assemblages, afin d'assurer la viabilité économique du système

Parmi les systèmes structuraux en bois permettant de franchir de grandes portées, les fermes de toit en treillis sont fréquemment utilisées. Bien qu'efficaces d'un point de vue structural et compatibles avec des portées souhaitées, elles nécessitent un espacement rapproché des membrures avec un platelage de faible épaisseur (ex. OSB ou contreplaqué). Ce genre de membrure sont visuellement peu intéressante et sont souvent recouvert d'un plafond pour les cacher, ce qui limite la mise en valeur visuelle du bois.

Les systèmes composés de poutres principales espacées et de pontages plus épais ou autoportants s'inscrivent dans une logique de structure poteau-poutre. Ce type de configuration permet une expression architecturale plus riche, en mettant en valeur la matérialité du bois et en favorisant une lecture claire et épurée de la structure. Ces systèmes sont particulièrement prisés dans les projets où la structure est laissée apparente et contribue à l'ambiance architecturale.

Toutefois, espacer les poutres principales implique nécessairement l'utilisation de sections plus massives, ce qui augmente le volume de bois requis et peut rapidement faire croître les coûts du système. Afin d'éviter de surdimensionner le pontage, sans toutefois rapprocher les poutres principales ou d'ajouter des colonnes, l'utilisation de poutres secondaires constitue une solution efficace permettant de transférer les efforts aux éléments principaux plus espacée.

Afin de maintenir la compétitivité du bois comme matériau à faible empreinte carbone, il est essentiel de développer des solutions structurales plus efficaces, tant sur le plan des volumes de matériaux que des méthodes de fabrication et d'installation.

Dans cette perspective, **les poutres sous-tendues représentent une solution structurale particulièrement pertinente pour répondre aux besoins des bâtiments commerciaux en bois, où les portées importantes et les considérations architecturales exigent des systèmes à la fois performants et élégants.** Bien qu'elles soient encore peu utilisées et parfois perçues comme complexes, leur potentiel en matière d'optimisation structurale et d'économie de matériau mérite d'être mieux compris.

3.2 Objectifs

Bien que les constructions commerciales de faible hauteur en bois soient autorisées depuis longtemps par le Code national du bâtiment (CNB), leur mise en oeuvre demeure peu répandue. Cette réalité s'explique principalement par des considérations économiques ainsi que par des perceptions erronées de la part des clients, qui associent souvent le bois à un matériau moins durable ou inadapté aux portées structurales des usages commerciaux. Ces préjugés sont souvent renforcés par une méconnaissance des systèmes structuraux bois chez certains professionnels, ce qui limite les propositions innovantes lors des phases de conception. Parallèlement, la hausse marquée du coût de la fibre de bois au cours des dernières années accentue le besoin d'optimiser les conceptions.

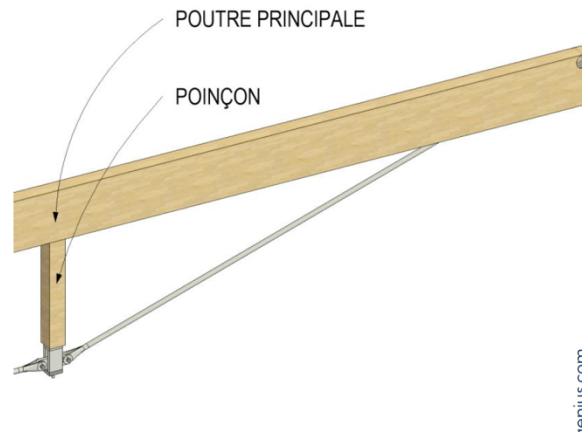
À la lumière des paramètres fonctionnels et structuraux typiquement rencontrés dans ce type de bâtiment, **le présent document s'attarde sur le développement d'un concept de poutre sous-tendue adapté à ce contexte.**

3.2.1 Poutres sous-tendues

En transférant une partie des efforts de flexion par un élément de tension (câble ou tige), elles permettent de réduire la section des poutres principales tout en conservant de grandes portées. Elles offrent ainsi un compromis efficace entre performance structurale, optimisation des matériaux et valorisation architecturale du bois. Le concept sera développé en détail dans les sections suivantes.

Les sections suivantes aborderont successivement les principes de dimensionnement, les composantes du système et les méthodes d'assemblage.

3.2.2 Composantes de la poutre sous-tendue :



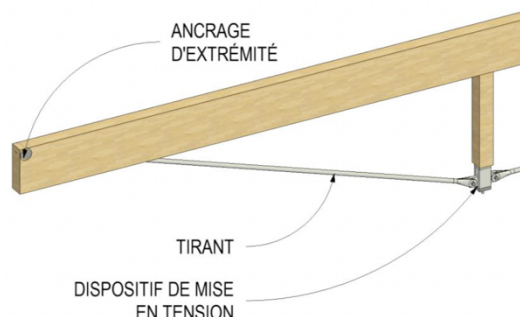
Un système de poutre sous-tendue repose sur une logique d'optimisation matérielle, dans laquelle le bois est utilisé pour reprendre les efforts en flexion et de compression en étant appuyé sur des appuis intermédiaires, tandis que des éléments en acier (tiges ou câbles) sont introduits là où ils sont structurellement plus efficaces c'est-à-dire en traction. Cette répartition ciblée des matériaux permet de tirer profit des propriétés mécaniques spécifiques de chacun. Les composantes principales sont les suivantes :

Poutre principale

La poutre principale est l'élément horizontal qui supporte les charges gravitaires. Généralement fabriquée en bois d'ingénierie comme le lamellé-collé, LVL, PSL ou autre, elle agit en flexion. L'ajout de poinçons intermédiaire supportés par un élément de tension permet de réduire la sollicitation en flexion, limitant ainsi la flèche et permettant de réduire la section de poutre.

Poinçon

Le poinçon est une pièce verticale, souvent en acier ou en bois d'ingénierie, qui agit comme élément de suspension entre la poutre principale et le tirant. Il permet de transmettre une partie des charges verticales vers le câble ou la tige sous-tendue. Il doit être dimensionné pour résister à la compression axiale sans flambement.



Tirant

Le tirant reprend les efforts de traction générés par les charges gravitaires des poinçons. Il est généralement constitué d'un câble en acier, d'une tige filetée, d'une barre ronde ou encore d'un tube d'acier, selon les dimensions et les exigences architecturales. Il est ancré mécaniquement aux extrémités de la poutre et soutient les poinçons qui transmettent l'effort de tension. Son allongement est un facteur clé dans le contrôle des déformations globales. Selon le type d'élément de tension retenu, divers produits préfabriqués sont disponibles sur le marché ; toutefois, ceux-ci se sont révélés particulièrement coûteux.

Ancrages aux extrémités

Les ancrages assurent la connexion entre l'élément de tension et les extrémités de la poutre. Ils doivent résister aux efforts de traction et aux effets induits par la mise en tension. Ces ancrages peuvent être réalisés à l'aide de platines boulonnées, de tiges d'ancrage avec plaques de transfert. Les ancrages viennent retransférer l'effort de traction du tirant, en compression dans la poutre principale.

Dispositif de mise en tension

Un système de mise en tension est parfois utilisé pour précontraindre l'élément de traction lors de l'installation. Ce dispositif permet de générer une contre-flèche initiale ou de contrôler la flèche en service. Selon le type de tirant employé, le mécanisme de tension doit généralement rester accessible afin de permettre des ajustements post-installation, notamment pour compenser la flèche instantanée ou les déformations différées dues au fluage à long terme.

3.2.3 Dimensionnement

Tableau de prédimensionnement des poutres principales de lamellé collé

		Espacement (s) entre les poutres principales			
		10' - 0"	15' - 0"	20' - 0"	25' - 0"
Portée (L)	20' - 0"	80x304	130x304	130x342	130x342
	25' - 0"	130x304	130x342	130x342	130x570
	30' - 0"	130x342	130x342	130x570	175x608
	35' - 0"	130x342	130x570	175x608	175x608
	40' - 0"	130x570	175x608	175x608	175x608
	45' - 0"	175x608	175x608	175x608	215x684
	50' - 0"	175x608	175x608	215x684	265x912
	55' - 0"	175x608	215x684	265x912	365x1026

*poinçon/potelet d'une hauteur de $\pm L/12$ avec tirant adapté aux efforts

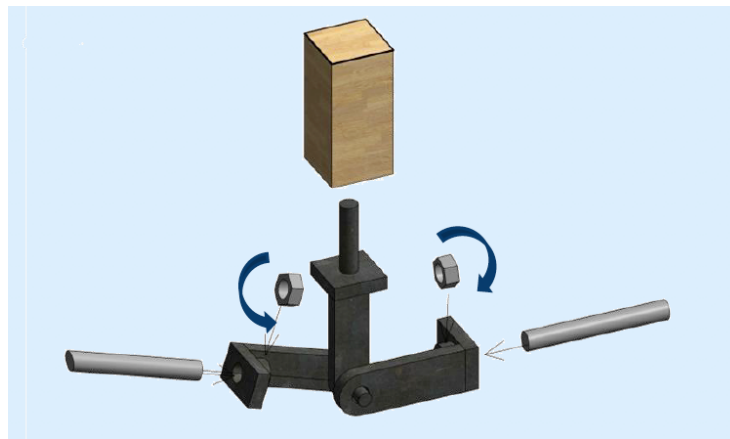
Dans le contexte des systèmes de poutres sous-tendues, l'un des objectifs principaux est de réduire la section de la poutre principale en soulageant partiellement les efforts de flexion à l'aide d'un élément de traction. Pour atteindre cet objectif, une tension importante doit être introduite dans le tirant, ce qui engendre des efforts de traction élevés, particulièrement pour les portées longues ou les charges importantes.

Lorsque ces efforts deviennent significatifs, les tiges d'acier requises atteignent des diamètres importants, ce qui peut complexifier les connexions et en augmenter les coûts. Dans plusieurs cas, les dimensions nécessaires justifient l'utilisation de sections creuses structurales (HSS), qui présentent des avantages sur les plans technique et économique. Comparativement aux câbles ou aux tiges filetées de grand diamètre, les HSS permettent l'intégration de détails d'assemblage plus conventionnels, ce qui simplifie la fabrication et réduit les coûts d'installation. Cette solution comporte toutefois un impact visuel plus marqué, qui doit être évalué en fonction des objectifs architecturaux du projet.

Afin de fournir des repères clairs pour la phase de conception, un tableau de prédimensionnement a été établi à partir d'une étude paramétrique, en considérant des conditions de chargement représentatives du contexte québécois. La charge de neige de 3,6 kPa utilisée reflète les exigences de la majorité des municipalités du Québec, selon le Code national du bâtiment du Canada (CNB 2020). Les charges permanentes ont été fixées à 1,4 kPa, incluant le poids propre des éléments structuraux et mécaniques.

Les tirants et les poinçons varient également selon la géométrie, mais les poutres principales demeurent l'élément présentant la plus grande optimisation. Le tableau de droite permet ainsi de guider le choix des sections structurales des poutres principale en fonction de différentes portées et configurations, selon la géométrie typique de bâtiments commerciaux.

Boulonnerie conventionnelle

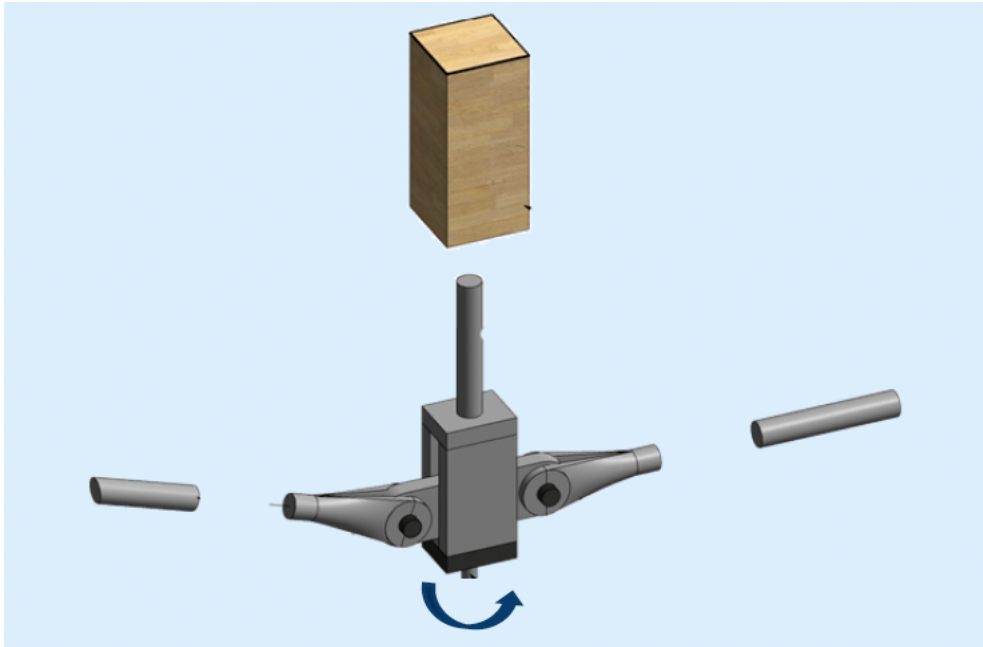


La première solution développée repose sur l'utilisation de boulonnerie conventionnelle, soit des tiges filetées, écrous et rondelles, permettant une mise en tension progressive du tirant par serrage contrôlé des écrous. Cette approche présente l'avantage de recourir à des composants facilement disponibles sur le marché, tout en assurant une exécution simple, rapide et peu coûteuse. Les assemblages peuvent être réalisés à l'aide d'outillage standard, sans besoin de dispositifs spécialisés.

Cependant, cette solution est limitée par la disponibilité des dimensions commerciales de tiges filetées et de boulons structuraux. Au-delà d'un certain diamètre, les composants requis deviennent coûteux, difficiles à obtenir ou incompatibles avec des pratiques d'assemblage usuelles.

De plus, comme dans tout système de tension individuel, il existe un risque de déséquilibre si les tirants ne sont pas serrés de manière symétrique. Cela peut entraîner un déplacement latéral ou une inclinaison du poinçon central. Une attention particulière doit donc être portée à l'équilibrage des efforts de tension lors de l'installation.

Élongation du poinçon



La seconde solution repose sur un système de mise en compression contrôlée du poinçon central. Dans cette approche, l'effort de traction n'est pas appliqué directement au tirant par serrage, mais plutôt induit par l'allongement du poinçon entre la poutre principale et le tirant, via un système de calage ou de boulonnerie interne.

Concrètement, le système consiste à installer le tirant en position libre (non tendu), puis à mettre en place le poinçon légèrement plus court que l'espace théorique requis. Lors de l'installation, un dispositif de calage ou de boulons de compression situés à la base du poinçon est serré, poussant verticalement sur la poutre principale. Cette action engendre la mise en traction symétrique du tirant, tout en plaçant le poinçon en compression axiale.

La tension est appliquée de manière uniforme aux deux extrémités du tirant, évitant les déséquilibres latéraux ou les torsions du poinçon observés avec les systèmes à serrage différentiel. Le poinçon agit comme élément de réglage intégré, et peut être ajusté même après la mise en place de la poutre. Les composants requis (calages, boulons à tête hexagonale, plaques d'acier) sont simples, peu coûteux et facilement disponibles.

3.3 Méthodologie

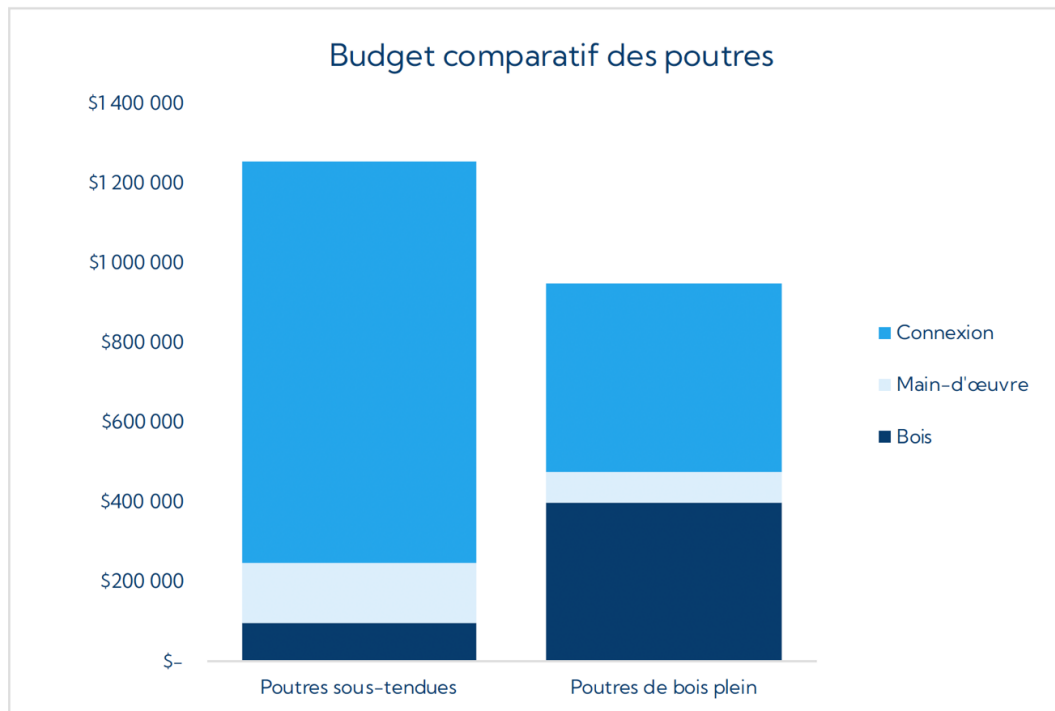
L'intégration d'un système de poutres sous-tendues vise à répondre simultanément à des objectifs de réduction des coûts et de limitation de l'empreinte environnementale. Pour en évaluer concrètement la pertinence, une analyse comparative a été réalisée entre deux approches structurales : d'une part, une solution conventionnelle utilisant des poutres en bois plein de type lamellé-collé, et d'autre part, une solution optimisée à poutres sous-tendues comportant un poinçon central et des tirants métalliques.

Les résultats présentés dans cette section sont issus d'un cas type correspondant à un commerce de détail d'une superficie de 3 350 m², situé à Chisasibi, au nord du Québec. Ce contexte est marqué par des contraintes logistiques importantes, notamment en ce qui concerne le transport des matériaux et la disponibilité limitée de main-d'œuvre spécialisée. Ces facteurs ont une influence directe sur les décisions structurales et sur la stratégie de préfabrication retenue.

L'analyse prend en compte à la fois les coûts directs liés aux matériaux et à l'installation sur le chantier, ainsi que l'impact environnemental associé à la quantité et au type de matériaux mobilisés. Les résultats visent à mettre en évidence les gains potentiels ainsi que les conditions de rentabilité et de viabilité environnementale du système sous-tendu, dans un contexte représentatif des projets commerciaux.

3.4 Résultats et analyse

3.4.1 Comparaison budgétaire



L'analyse des coûts présentée ici se concentre exclusivement sur les poutres principales du bâtiment, à l'exclusion des autres composantes structurales telles que le pontage, les colonnes ou les murs porteurs. Cette approche ciblée permet de comparer directement les implications économiques des deux configurations analysées.

Les résultats indiquent que la solution sous-tendue présente un surcoût d'environ 20 % par rapport à la solution conventionnelle composée de poutres en bois plein en lamellé-collé. Bien que le système sous-tendu permette une réduction du volume de bois, ce qui diminue le coût des matériaux

principaux, cette économie est neutralisée par les coûts additionnels liés aux connexions, aux ancrages et aux éléments de mise en tension, qui requièrent une préfabrication plus précise et des interventions plus spécialisées en chantier.

Dans un contexte comme celui de Chisasibi, où la main-d'oeuvre qualifiée est limitée et où les conditions de transport sont plus contraignantes, ces facteurs prennent une importance accrue. La mise en tension du système, les ajustements d'alignement et les tolérances d'assemblage nécessitent une planification plus rigoureuse et un encadrement technique plus soutenu qu'une installation de poutres conventionnelles.

En résumé, bien que le système sous-tendu présente des avantages en termes de performance et de conception architecturale, il demeure, dans le cadre de cette étude de cas, plus coûteux d'environ 20 % à l'échelle des poutres principales. Sa pertinence économique repose sur des considérations telles que la répétitivité des éléments, la capacité de préfabrication et les ressources disponibles sur le site. Sur l'échelle du bâtiment, la variation représente moins de 1% (cout total estimé à 30M \$)

3.4.2 Comparaison carbone

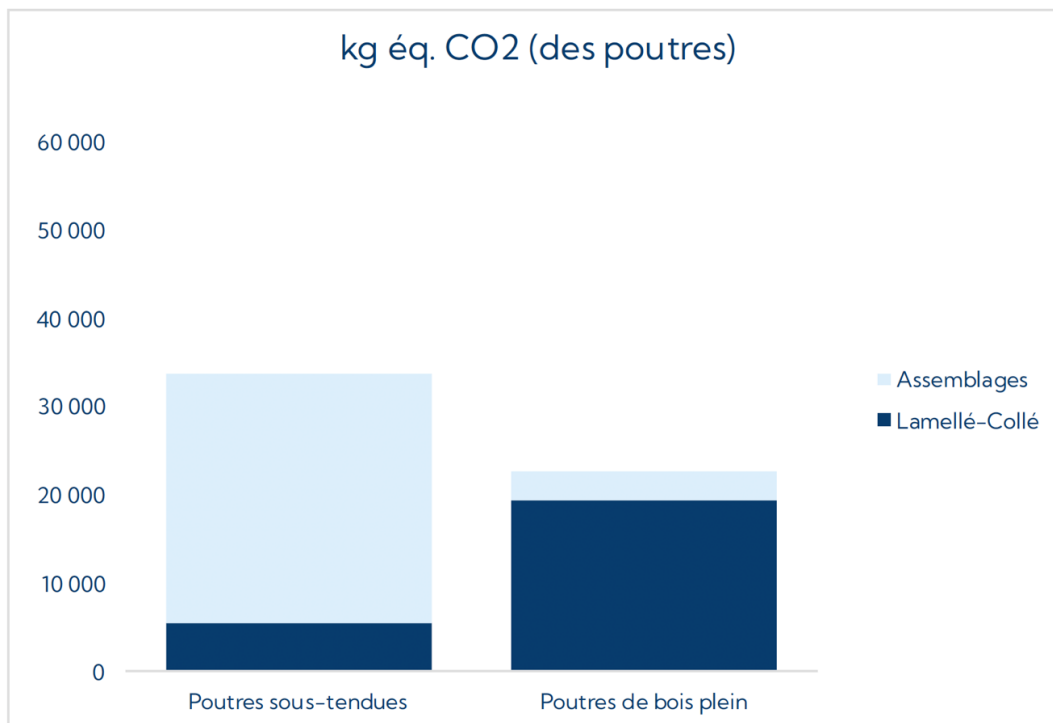


Figure 1. Quantité de kg éq. de CO2 émise par le système de poutres sous-tendues versus un système de poutres plein bois (pour le même bâtiment).

En complément de l'analyse économique, une évaluation comparative de l'impact environnemental a été réalisée à l'aide de l'outil Gestimat, développé par le Cecobois. Cet outil permet d'estimer les

émissions de gaz à effet de serre (GES) associées aux différents systèmes constructifs, en fonction des quantités de matériaux mis en oeuvre et de leurs profils environnementaux respectifs.

L'analyse s'est d'abord concentrée sur les poutres principales uniquement, ce qui permet de comparer directement les deux solutions étudiées. Comme l'illustre la première figure (figure 1), la solution sous-tendue présente un volume de bois réduit, ce qui contribue à limiter l'impact associé au matériau principal. Toutefois, cette réduction est largement contrebalancée par la présence de tirants et de connecteurs en acier, dont l'intensité carbone par kilogramme est nettement plus élevée que celle du bois. **Cette réalité se traduit par un impact environnemental d'environ 50 % plus élevé pour la solution sous-tendue, comparativement à une solution classique en poutres de bois massif.**

Afin de mettre cette différence en perspective, une seconde analyse a été réalisée à l'échelle de l'ensemble du projet, en intégrant les autres composantes structurales telles que les colonnes, les murs, le pontage et la toiture. Comme le montre la Figure 2, la contribution relative des poutres principales au bilan carbone global demeure modeste. Ainsi, la différence observée à l'échelle du système porteur se traduit par une variation plus faible, de l'ordre de 10 %, sur l'ensemble de la structure du bâtiment.

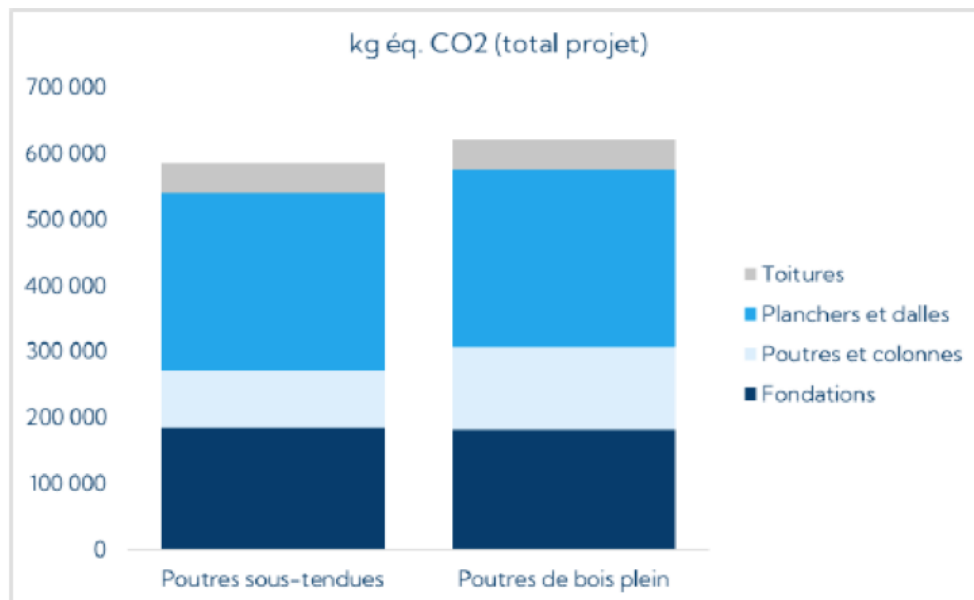


Figure 2. Comparaison des émissions de CO2 d'une structure de bâtiment intégrant des poutres sous-tendues à une structure de bâtiment intégrant plutôt des poutres de bois plein.

Ces résultats mettent en évidence que, malgré une réduction du volume de bois, l'utilisation accrue de composants en acier dans un système sous-tendu alourdit son empreinte carbone. Ce facteur constitue un élément important à considérer dans les projets où la performance environnementale est un critère de conception prioritaire.

Pour fins d'analyse, le même bâtiment intégrant une structure sous-tendues à été comparé à un bâtiment muni d'une struture d'acier. La figure 3 ci-bas présente les résultats. Le bâtiment tout acier est tout de même plus émissif en GES. Il est ainsi pertinent d'utiliser le système de poutres sous-tendues en termes de GES s'il permet de remplacer une structure tout acier. La solution avec poutres sous-tendues reduit les émissions de GES de **220 998 kg éq. de CO₂**.

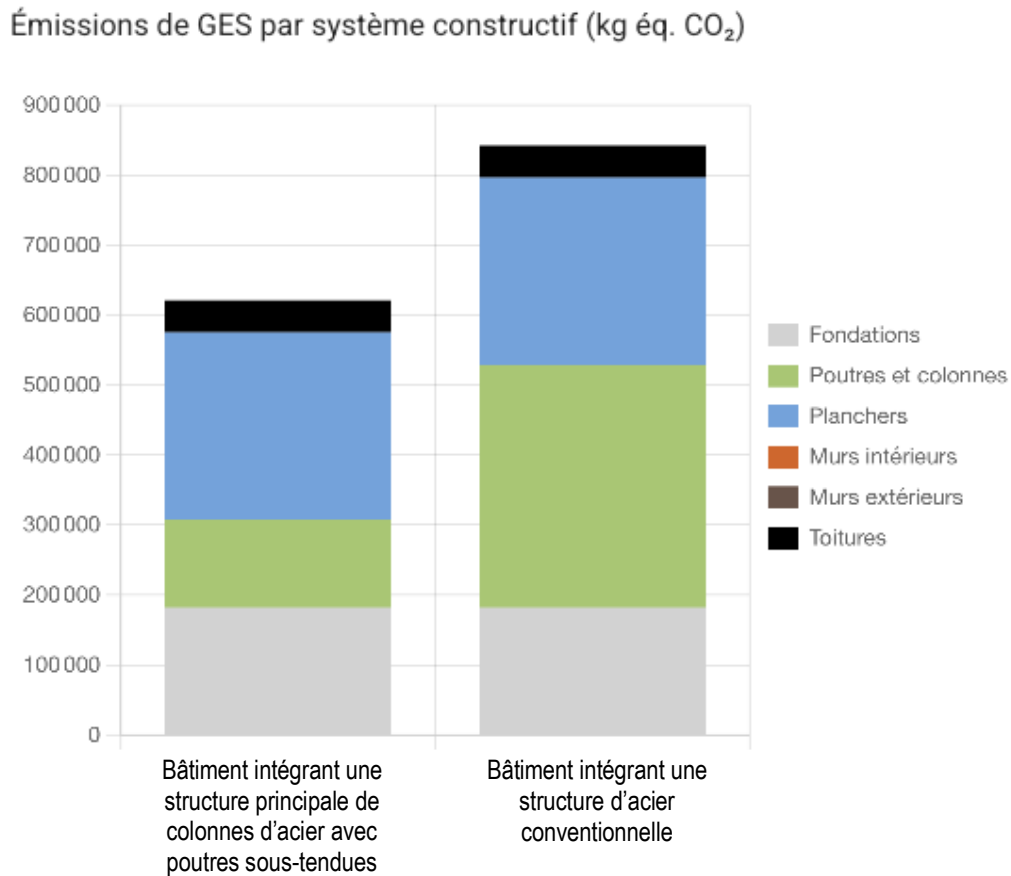


Figure 3. Comparaison des émissions de GES par système constructif d'un bâtiment intégrant une structure bois avec poutres sous-tendues à un bâtiment intégrant une cstructure d'acier conventionnelle.

La figure 4 suivante montre les résultats en fonction des quantités de matériaux compris dans les deux mêmes bâtiments respectifs.

Émissions de GES par matériau (kg éq. CO₂)

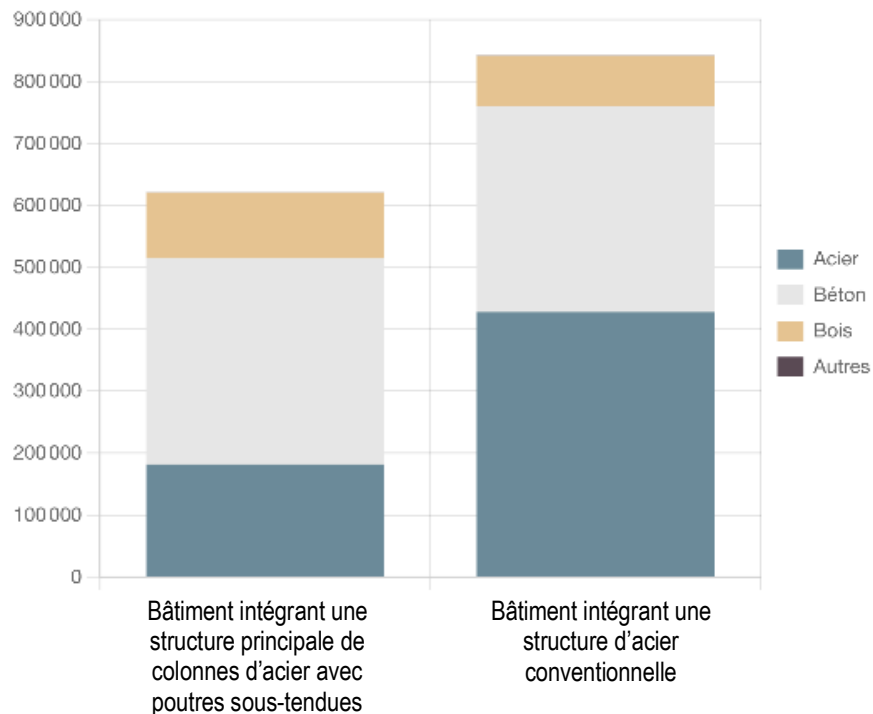


Figure 4. Comparaison des émissions de GES par matériaux d'un bâtiment intégrant une structure bois avec poutres sous-tendues à un bâtiment intégrant une structure d'acier conventionnelle.

3.5 Conclusions

Le présent rapport avait pour objectif d'explorer la pertinence technique, économique et environnementale d'un système de poutres sous-tendues en contexte de construction commerciale de faible hauteur. Cette démarche s'inscrivait dans une volonté d'optimisation structurale et de valorisation du matériau bois dans des configurations de portées typique, où la compétitivité face à l'acier est un enjeu important.

Les analyses réalisées à travers le projet pilote ont permis de démontrer que le système sous-tendu, bien que plus complexe en phase d'assemblage, constitue une solution techniquement viable pour améliorer l'expression architecturale du système porteur. Toutefois, cette optimisation structurale entraîne des impacts contrastés sur les plans économique et environnemental.

D'un point de vue environnemental, l'étude a mis en évidence que la réduction du volume de bois ne compense pas l'intensité carbone élevée des composants en acier nécessaires au fonctionnement du système (tirants, ancrages, connecteurs). L'impact carbone des poutres sous-tendues demeure ainsi supérieur à celui d'un système hybride plus conventionnel comprenant des

colonnes d'acier et des poutres en bois, même si cette différence se dilue à l'échelle de l'ensemble du bâtiment. Sur le plan économique, bien que le budget pour le bois soit inférieur, les coûts liés à la préfabrication des assemblages, à la mise en tension et à la main-d'œuvre spécialisée rendent actuellement la solution environ 20 % plus coûteuse à l'échelle des poutres principales.

Ces résultats suggèrent que la pertinence d'un système de poutres sous-tendues dépend fortement du contexte du projet, notamment en ce qui a trait à la répétitivité des travées, à l'intégration architecturale souhaitée, à la capacité de préfabrication, et à la disponibilité de la main-d'œuvre. Dans des contextes où l'optimisation de la hauteur libre, la mise en valeur du bois et la réduction du volume global de matériaux sont prioritaires, ce système peut constituer une alternative aux solutions traditionnelles, à condition que les considérations économiques et environnementales soient pleinement intégrées à la démarche de conception.

3.6 Retombées et rayonnement des solutions développées et potentiel de reproductibilité pour l'industrie

Comparée à une structure tout en acier, une structure bois avec poutres sous-tendues permet de diminuer les émissions de GES dans un bâtiment commercial de faible hauteur, mais moins qu'une structure hybride plus conventionnelle comprenant des colonnes d'acier et des poutres en bois. D'un point de vue économique, elle fait cependant peu de différence par rapport à un système hybride plus conventionnel comprenant des colonnes d'acier et des poutres en bois. Dans ce cas, sa pertinence est liée au design et à la disponibilité de main-d'œuvre. Pour toutes les raisons mentionnées ci-haut, l'équipe de projet n'envisage pas de retombées énormes pour cette technologie. Elle devrait être utilisée au cas par cas et la solution constituée d'un système hybride comprenant des colonnes d'acier et des poutres en bois devrait être privilégiée.

3.7 Recommandations

Ne pas lancer une initiative de standardisation et de vente de pièces pré-dimensionnées tel que précédemment envisagée. L'utilisation des poutres sous-tendues s'est révélée être pertinente seulement dans certains cas.

4. Bibliographie

Cecobois. (2021). Guide des meilleures pratiques pour la conception de bâtiments commerciaux en bois. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (Cecobois).

Normes CSA O86. (2024). Code de conception des structures en bois. Association canadienne de normalisation (CSA).

National Research Council Canada. (2020). Code national du bâtiment du Canada – CNB 2020. Conseil national de recherches Canada.

Cecobois. (2020). Introduction à l'analyse du cycle de vie avec Gestimat. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois.

Forest Products Laboratory. (2010). Wood Handbook – Wood as an Engineering Material. USDA Forest Service, General Technical Report FPL-GTR-190.

Beaudoin, L., & Thomas, M. (2018). Structural optimization of long-span wood members using tension reinforcement. Proceedings of the World Conference on Timber Engineering (WCTE).

Gagnon, S. & Pirvu, C. (2011). CLT Handbook: Cross-Laminated Timber. FPIInnovations.