

Construire un avenir à faible teneur en carbone : exploration des matières premières et des produits pour le secteur canadien de la construction

Objectif

En 2023, CanmetÉNERGIE a lancé un projet visant à promouvoir l'utilisation de matériaux permettant le stockage du carbone dans les enveloppes de bâtiments conçues pour la construction industrielle. Si certains de ces matériaux sont déjà établis et ont fait leurs preuves, de nombreuses alternatives prometteuses nécessitent encore des recherches. Le présent rapport indique et évalue les matières premières et les produits à faible teneur en carbone et stockant le carbone qui pourraient être intégrés à court terme dans la construction industrialisée, en soulignant les occasions concrètes qui correspondent aux objectifs climatiques du Canada. Ces solutions offrent non seulement des avantages environnementaux importants, mais aussi des occasions de renforcer les économies régionales, d'améliorer la fabrication nationale et de soutenir les agriculteurs, le secteur forestier et les industries de gestion des déchets du Canada.

À propos de Builders for Climate Action

Builders for Climate Action est une entreprise sociale dédiée, qui se situe à l'avant-garde des actions significatives en faveur du climat. Nous collaborons avec des constructeurs, des concepteurs, des promoteurs, des décideurs politiques, des chercheurs et des fabricants afin de lutter contre l'impact considérable des bâtiments sur notre climat et d'œuvrer en faveur de bâtiments véritablement carboneutres. Notre engagement repose essentiellement sur la fourniture d'outils essentiels, de recherches de pointe et de ressources de valeur qui permettent aux professionnels et aux décideurs politiques de concrétiser la vision de bâtiments véritablement carboneutres.

Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leurs précieuses contributions et leurs précieux conseils dans le cadre de ce travail :

- Garrett Johnson, Hundred Year Materials/Evolve Builders
- Samuel Kondratski, Savick
- James Fisher, Ontario Biomass Producers Cooperative
- Norm Richardson, Ontario Biomass Producers Cooperative
- Bev Shenk, Ontario Biomass Producers Cooperative
- Mahendra Thimmanagari, ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et de l'Agroalimentaire de l'Ontario
- Gabriel Gauthier, ArtCan

Citation

B. Belitski, C. Magwood, H. Pope, « Construire un avenir à faible teneur en carbone : exploration des matières premières et des produits pour le secteur de la construction au Canada », Ressources naturelles Canada. Ontario, Canada. 2025.

Table des matières

Résumé	4
1. Introduction	6
1.1 Contexte : la nécessité de bâtiments à faible teneur en carbone	6
1.2 Solutions industrielles concrètes et à faible teneur en carbone pour le Canada	6
2. Bâtiments à faible teneur en carbone et stockage du carbone	7
2.1 Décarbonisation grâce à la réduction du carbone intrinsèque	7
2.2 Détermination de la teneur en carbone des matières premières	8
2.3 Comptabilisation du carbone biogénique et évaluation du stockage du carbone	8
2.4 Avantages des produits biosourcés pour la santé humaine	9
2.5. Potentiel des produits biosourcés dans le cadre d'une économie circulaire	10
3. Matières premières agricoles canadiennes pour les produits de construction	11
3.1 Un vaste potentiel en matière de ressources	11
3.2 Avantages pour la santé des sols et la séquestration du carbone	11
3.3 Occasions économiques pour les agriculteurs et le secteur manufacturier	12
4. Résidus et sous-produits forestiers pour la construction	12
4.1 Une ressource abondante	12
4.2 Possibilités économiques et occasions d'emploi	12
5. Évaluation des matières premières canadiennes pour les produits de construction	13
5.1 Résidus agricoles et cultures spécialisées	16
5.2 Résidus forestiers	28
5.3 Sous-produits industriels et flux de déchets post-consommation	32
5.4 Matières premières et technologies innovantes et émergentes	40
6. Occasions à court terme et prometteuses	44
6.1 Occasions proches du marché	44
6.2 Matières premières prometteuses	48
7. Prochaines étapes	51
8. Le passage de solutions sur mesure à des solutions évolutives	53
Références	54

Résumé

Le Canada a l'occasion de trouver des solutions à trois de ses défis les plus urgents : réduire les émissions de carbone, répondre à la demande croissante en logements et revitaliser l'industrie manufacturière nationale. En convertissant plus de **100 millions de tonnes** de résidus agricoles sous-utilisés, de sous-produits forestiers et de déchets recyclés en matériaux de construction à faible teneur en carbone, le Canada peut soutenir le développement économique, créer des emplois qualifiés et renforcer son leadership mondial dans le domaine de la construction durable.

Les matériaux de construction biosourcés ont une longue histoire au Canada, mais ils sont souvent négligés en tant que composants essentiels d'un secteur de la construction moderne et industrialisé. Cela est en train de changer. À l'échelle mondiale, les entreprises manufacturières fabriquent des produits à haut rendement qui stockent le carbone à partir de matières premières de biomasse à faible coût. Bon nombre d'entre elles – paille de blé, tiges de maïs, résidus forestiers, de même que bois, papier et verre post-consommation – sont disponibles en abondance au Canada.

Le gouvernement fédéral a reconnu le rôle important des émissions de carbone intrinsèques – les gaz à effet de serre émis tout au long du cycle de vie des matériaux de construction – dans le secteur de la construction. Avec ses engagements à réduire les émissions nationales de gaz à effet de serre de 40 à 45 % par rapport aux niveaux de 2005 d'ici 2030 et à atteindre la carboneutralité nette d'ici 2050, le Canada a de grandes occasions de montrer la voie dans l'utilisation de matériaux qui stockent plus de carbone qu'ils n'en émettent. Les produits biosourcés offrent une solution climatique immédiate, transformant les bâtiments en puits de carbone à long terme.

Ce rapport indique comment ces matières premières peuvent être transformées en produits de construction compétitifs sur le plan des coûts tout en offrant des avantages sur le plan climatique, économique et en matière de santé. Le Canada est très bien placé pour jouer un rôle de premier plan dans ce domaine, en construisant des maisons plus saines, en créant de nouveaux marchés pour les agriculteurs et le secteur forestier et en intégrant directement des millions de tonnes de carbone dans le parc immobilier national.

Principales conclusions

- Le Canada produit environ **80 millions de tonnes** de résidus agricoles par année, des matières premières largement inexploitées pour une large gamme de produits de construction.
- Les activités forestières génèrent **plus de 20 millions de tonnes** de résidus par année, des matériaux qui pourraient être transformés en produits de construction.
- Le Canada produit **6,5 millions de tonnes** de déchets de bois, de papier, de carton et de verre, dont une grande partie est mise en décharge, mais qui pourrait plutôt servir à l'industrie de la construction.

- Plus de **100** produits de construction biosourcés sont actuellement fabriqués dans le monde à partir des matières premières abondantes du Canada.
- La paille de céréales, les résidus forestiers, le bois recyclé et le papier/carton sont les matières premières canadiennes les plus prometteuses, pouvant être transformées en **60** produits de construction uniques permettant le stockage du carbone.
- La catégorie de produits la plus prometteuse pour ces matières premières est celle des produits d'isolation (y compris les formats en vrac, en panneaux et en rouleaux), car les exigences plus strictes en matière d'efficacité énergétique entraînent une demande accrue pour des maisons résilientes et à haut rendement.
- Les tiges de maïs, le chanvre, les algues et le mycélium font partie des matières premières innovantes et émergentes au Canada qui pourraient transformer notre industrie des produits de construction en un chef de file mondial du stockage du carbone.
- Grâce à l'utilisation de produits stockant le carbone, les nouvelles maisons canadiennes pourraient stocker plus de 3 mégatonnes de carbone par année, transformant ainsi le secteur du logement en un puissant outil d'action climatique.

Le Canada est particulièrement bien placé pour devenir le chef de file mondial dans le développement et la commercialisation de matériaux de construction stockant le carbone. Des investissements ciblés dans les carrefours de transformation régionaux, la modernisation des codes du bâtiment et les processus de certification peuvent ouvrir la voie à ces occasions, créant ainsi des emplois, favorisant le développement économique rural et positionnant le Canada comme un chef de file mondial dans le domaine de la construction respectueuse du climat.

1. Introduction

1.1 Contexte : la nécessité de bâtiments à faible teneur en carbone

Le secteur de la construction est une source importante d'émissions de carbone au Canada, le carbone intrinsèque issu de la production de matériaux et de la construction représentant un défi croissant. Sans intervention, les nouveaux logements pourraient ajouter 18 mégatonnes (MT) de gaz à effet de serre dans l'atmosphère chaque année [1], ce qui équivaut à ajouter plus de 5 millions de voitures de tourisme à essence sur les routes chaque année [2]. Le Plan de réduction des émissions (PRE) de 2030 du gouvernement du Canada, dans le cadre de la *Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité* [3], souligne l'importance de réduire les émissions dans tous les secteurs. En adoptant des stratégies et des produits à faible teneur en carbone et stockant le carbone, le Canada a une occasion unique de transformer l'agriculture, la foresterie et les flux de déchets en solutions climatiques, en soutenant les agriculteurs et le secteur forestier, en stimulant la fabrication locale et en créant des emplois stables et bien rémunérés dans les communautés à travers le pays.

Les produits biosourcés stockent souvent plus de carbone dans leurs matières premières que ce qui est émis pendant leur fabrication. RNCan estime qu'en utilisant des produits stockant le carbone, les nouvelles maisons canadiennes pourraient stocker plus de 3 MT de carbone par année [4]. Au-delà de la réduction des émissions, les produits biosourcés peuvent améliorer la qualité de l'air intérieur, avoir des effets positifs sur le bien-être humain et soutenir une économie circulaire en réutilisant les sous-produits de l'agriculture, de la foresterie et de l'industrie. Intégrer des produits qui stockent le carbone biogénique, en particulier celui provenant des flux de déchets, de l'agriculture régénérative ou de l'aménagement forestier durable, peut empêcher son rejet dans l'atmosphère pendant toute la durée de vie d'un bâtiment, et potentiellement plus longtemps.

À l'échelle internationale, la construction biosourcée connaît une expansion rapide. Le rapport du PNUÉ intitulé « Building Materials and the Climate » (Les matériaux de construction et le climat) indique que les matériaux de construction biosourcés sont essentiels à la réduction du carbone dans l'atmosphère [5]. Alors que les pays européens ont adopté une réglementation pour encourager et rendre obligatoire leur utilisation, le Canada n'a pas encore tiré parti de ses propres ressources importantes en biomasse. Grâce à des mesures ciblées, le Canada peut exploiter ces matières premières pour bâtir un secteur de la construction durable et à faibles émissions de carbone, en accord avec ses objectifs de carboneutralité.

1.2 Solutions industrielles concrètes et à faible teneur en carbone pour le Canada

La transition vers la préfabrication, la panélisation et la construction volumétrique (par rapport à la construction traditionnelle sur site) peut accroître l'efficacité, réduire les déchets et accélérer le déploiement de solutions de logement adaptées au climat. La construction industrialisée offre

également une voie évolutive pour intégrer des produits novateurs, à faible teneur en carbone, biosourcés et recyclés dans les pratiques de construction courantes, réduisant ainsi l'empreinte carbone de la construction tout en diminuant les coûts et en améliorant la qualité de la construction.

Les matières premières sont classées et présentées selon leur source, et comprennent :

- Les résidus agricoles
- Les cultures spécialisées
- Les résidus forestiers
- Les flux de déchets et de recyclage
- Les matières premières innovantes et émergentes

Ce rapport indique des occasions pratiques et proches du marché pour intégrer des matières premières stockant le carbone dans le secteur canadien de la construction grâce à la préfabrication et à la construction industrialisée. Il évalue la disponibilité, la faisabilité et les besoins en infrastructure des matières premières canadiennes, démontrant comment elles peuvent contribuer à réduire les émissions de carbone intrinsèque, à renforcer la fabrication nationale, à soutenir les économies rurales et à accélérer les progrès vers les objectifs du Canada en matière de logement et d'émissions [6].

2. Bâtiments à faible teneur en carbone et stockage du carbone

2.1 Décarbonisation grâce à la réduction du carbone intrinsèque

Le carbone intrinsèque comprend les émissions de gaz à effet de serre provenant de l'extraction, de la production, du transport et de l'installation des matériaux de construction. Il comprend également les émissions générées tout au long du cycle de vie d'un produit, y compris l'entretien, la réparation et l'élimination en fin de vie. Contrairement aux émissions opérationnelles, qui s'accumulent progressivement au cours de la durée de vie d'un bâtiment, la plupart du carbone intrinsèque est libéré dès le départ, avant même que le bâtiment ne soit occupé, ce qui rend essentielle une réduction rapide. De simples substitutions de produits, telles que des isolants, des revêtements et des alternatives au béton à faible teneur en carbone, peuvent réduire considérablement les émissions sans augmenter les coûts [4]. Malgré la rentabilité de bon nombre de ces substitutions, leur adoption reste limitée en raison de l'inertie du marché, du manque de connaissances et des obstacles réglementaires. Des politiques et des incitations claires sont nécessaires pour établir les produits à faible teneur en carbone comme norme industrielle et accélérer la transition vers la construction carboneutre.

Les produits à faible teneur en carbone ont des émissions de cycle de vie inférieures à celles des alternatives conventionnelles, grâce à une intensité d'émissions réduite dans les processus de récolte, de transport et de fabrication. Citons par exemple le béton fabriqué à partir de matériaux cimentaires secondaires afin de réduire la dépendance au ciment Portland, très émetteur, l'acier produit à partir de fours à arc électrique et les isolants fabriqués en utilisant des

agents gonflants à faible impact. À partir de 2025, la politique du gouvernement fédéral canadien « Achat de produits propres » soutiendra la transition vers des produits à faible teneur en carbone en exigeant la divulgation du carbone intrinsèque, des évaluations du cycle de vie complet des bâtiments et une réduction de 30 % du carbone intrinsèque pour les grands projets de construction [7].

Les produits stockant le carbone constituent un sous-ensemble spécifique de produits de construction à faible teneur en carbone fabriqués à partir de matières premières qui ont éliminé le CO₂ de l'atmosphère par photosynthèse. Ce carbone atmosphérique est stocké dans la biomasse et peut rester hors de l'atmosphère pendant des décennies, voire plus, lorsqu'il est converti en produits de construction à longue durée de vie.

Pour déterminer si un produit peut être considéré comme stockant du carbone, nous évaluons son potentiel de réchauffement planétaire (PRP) net au cours des étapes A1 à A3 : approvisionnement en matières premières, transport et fabrication. À l'aide des déclarations environnementales de produit (DEP), nous comparons le carbone biogénique stocké dans le produit aux émissions générées pendant sa production. Si le stockage dépasse les émissions, le produit a un PRP net négatif et est considéré comme un matériau stockant du carbone. Voir la section 2.3 pour une analyse plus approfondie de l'évaluation du stockage durable du carbone.

2.2 Détermination de la teneur en carbone des matières premières

Les résidus agricoles, les cultures spécialisées et les sous-produits forestiers contiennent tous une quantité importante de carbone en masse, ce qui signifie que leur utilisation dans la construction permet de séquestrer le carbone dans les bâtiments. La base de données Phyllis [8] compile les valeurs de composition en carbone d'un large éventail de matières premières à partir de plusieurs échantillons (voir le tableau 1). La teneur en carbone des matières premières relevées varie entre 45 et 55 % de la masse sèche. Ce volume de carbone important peut permettre aux produits finaux d'atteindre un stockage net de carbone, même après prise en compte des émissions liées à la récolte, au transport et à la transformation.

2.3 Comptabilisation du carbone biogénique et évaluation du stockage du carbone

Il n'existe pas de consensus scientifique sur la manière de fixer la valeur de l'impact climatique positif du stockage du carbone dans les produits de construction durables, et une grande confusion règne autour de ce sujet pour deux raisons : les principes comptables utilisés dans l'analyse du cycle de vie (ACV) et la prédominance de peuplements vierges comme matière première biogénique, ainsi que les complications liées à l'évaluation de l'impact climatique des opérations forestières.

Vu sous l'angle de l'ACV, le carbone biogénique est considéré comme carboneutre, car la méthodologie de l'ACV permet simplement de suivre les flux de carbone biogénique à travers

chaque module du cycle de vie d'un produit [9], [10]. Appelé « approche -1/+1 », ce système comptable crédite le retrait de carbone lorsqu'il entre dans un système de produit (-1 kilogramme de dioxyde de carbone pour chaque kilogramme de dioxyde de carbone séquestré dans l'atmosphère pendant la croissance des plantes) et suppose que ce dioxyde de carbone est réémis en fin de vie (+1 kilogramme retournant dans l'atmosphère). Ce système est efficace pour suivre les flux de carbone, mais il est souvent interprété à tort comme signifiant que le stockage n'a aucun avantage pour le climat. Comme le carbone retiré de l'atmosphère est ensuite libéré, le bilan semble neutre ($-1 + 1 = 0$).

Cependant, les horizons temporels sont essentiels pour évaluer les impacts climatiques. Les produits biosourcés peuvent stocker le carbone dans les bâtiments pendant des décennies après qu'il ait été retiré de l'atmosphère par photosynthèse. Prévenir les émissions aujourd'hui en stockant le carbone qui, autrement, serait rejeté dans l'atmosphère présente des avantages climatiques clairs et bien compris.

Plusieurs approches de l'analyse du cycle de vie (ACV dynamique, GWPbio, comptabilisation en tonnes-année et ACV spatio-temporelle) proposent des systèmes pour valoriser l'impact de ce stockage temporaire [11]. Chacune offre une perspective différente, mais toutes s'accordent à dire que le report des émissions réduit le réchauffement. Le stockage prolongé du carbone renforce l'atténuation du changement climatique et l'augmentation considérable de ce type de stockage a des effets de plus en plus positifs sur le climat.

Le présent rapport ne cherche pas à sélectionner une méthode spécifique pour déterminer la valeur du carbone biogénique stocké. Néanmoins, le principe sous-jacent de la science climatique est clair : la conversion de la biomasse qui émettrait aujourd'hui du CO₂ en produits de construction retarde les émissions de plusieurs décennies, voire de plusieurs siècles, selon le matériau et l'application. Bien qu'aucune norme unique pour quantifier cet avantage ne se soit imposée comme un consensus par défaut, les possibilités sont immédiates : l'utilisation à grande échelle des produits biosourcés permet dès maintenant de réduire les émissions à court terme et d'obtenir des gains climatiques à long terme, quelle que soit la manière dont cela est calculé.

2.4 Avantages des produits biosourcés pour la santé humaine

Les produits biosourcés partagent plusieurs caractéristiques importantes qui en font un choix plus sain pour les fabricants, les constructeurs et les occupants. Contrairement à de nombreux produits de construction traditionnels, qui peuvent contenir des additifs toxiques, dégager des composés organiques volatils (COV) et nécessiter des mesures de protection importantes lors de leur installation, les produits biosourcés sont généralement exempts de produits chimiques synthétiques potentiellement nocifs. Ces produits contribuent à améliorer la qualité de l'air intérieur, réduisent l'exposition aux irritants et aux particules dangereuses et permettent une manipulation plus sûre avec un équipement de protection minimal.

Le système Informed Product Guidance de Habitable classe bon nombre des matières premières et produits bios indiqués dans ce rapport parmi les meilleurs en matière de santé et de durabilité [12]. Les produits tels que les produits isolants en chanvre et en fibre de bois sont

reconnus pour leur teneur minimale en produits chimiques et leur excellente régulation de l'humidité, ce qui renforce leur aptitude à constituer des alternatives plus sûres. Choisir ces produits, c'est construire des espaces qui sont meilleurs à la fois pour l'environnement et pour les personnes qui y vivent et y travaillent.

Il est important de prendre note que certains produits biosourcés sont fabriqués à l'aide d'adhésifs ou de liants contenant des produits chimiques nocifs. Il est donc important de privilégier les systèmes qui évitent les colles et résines toxiques et/ou à base de combustibles fossiles afin de préserver les avantages en matière de santé et de durabilité.

2.5. Potentiel des produits biosourcés dans le cadre d'une économie circulaire

La construction circulaire réduit la dépendance aux ressources vierges en conservant les matériaux utilisés et en évitant le gaspillage. La réutilisation des sous-produits agricoles, des résidus forestiers, des sous-produits industriels et des matériaux recyclés permet d'éviter les émissions liées à l'extraction, au traitement et à l'élimination. Les matières premières telles que la paille, les résidus de maïs, le carton, les résidus forestiers et les déchets de bois, souvent jetés ou brûlés, peuvent être transformés en produits de construction durables, ce qui prolonge la valeur des ressources et soutient une économie circulaire qui réduit la pression sur l'extraction des ressources primaires.

Certains matériaux vont encore plus loin, permettant un recyclage continu dans le même produit. Cela reflète les principes de l'économie circulaire, qui consistent à concevoir des produits destinés à être réutilisés à l'infini, soit comme nutriments biologiques qui se décomposent en toute sécurité, soit comme nutriments techniques qui peuvent être refabriqués à l'infini. Par exemple, les fibres de bois peuvent être récupérées à la fin de la vie d'un bâtiment, transformées et reformées en nouveaux isolants ou panneaux de fibres, conservant ainsi leur utilité sans générer de déchets [13], [14].

La conception de bâtiments destinés à être démontés et réutilisés renforce encore la circularité des matériaux en garantissant que les produits, qu'ils soient d'origine biologique, recyclés ou conventionnels, peuvent être récupérés, réutilisés ou réintégrés dans de nouveaux produits ou systèmes à la fin de leur durée de vie. Des stratégies telles que l'utilisation de fixations mécaniques au lieu d'adhésifs, de composants modulaires et d'assemblages adaptables simplifient le rétablissement des matériaux, prolongent la durée de vie des produits et réduisent les déchets de construction. Cette approche maximise la durée de stockage du carbone, renforce les boucles de matériaux, réduit les coûts et favorise un environnement bâti plus économe en ressources.

3. Matières premières agricoles canadiennes pour les produits de construction

3.1 Un vaste potentiel en matière de ressources

Le secteur agricole canadien produit d'importants résidus provenant de la production de maïs, de céréales et d'autres cultures. Selon des estimations récentes, entre 28 et 80 millions de tonnes de résidus agricoles sont générés chaque année, en particulier à partir de cultures de base comme le blé, le soja, le maïs et le canola [15]. Chaque tonne de biomasse sèche contient l'équivalent de 1,5 à 2 tonnes de CO₂ séquestré [16]. Ces résidus agricoles représentent une occasion considérable de stockage de carbone s'ils sont utilisés pour fabriquer des produits de construction à faible teneur en carbone. L'utilisation de matières premières issues de résidus ne nécessite pas d'utilisation de terres supplémentaires et ne produit pas d'impact lié aux intrants, ce qui rend ces sous-produits agricoles avantageux du point de vue du cycle de vie.

Certaines cultures peuvent être cultivées spécifiquement comme matières premières destinées à être utilisées dans l'environnement bâti. Les cultures spécialisées peuvent offrir des occasions de produire des produits à faible teneur en carbone tout en améliorant la santé des sols, en favorisant la rotation des cultures et en fournissant des revenus supplémentaires aux agriculteurs. Lorsqu'on examine les cultures spécialement destinées à être transformées en produits de construction, il est important de tenir compte des questions liées au changement dans l'utilisation des terres. Le remplacement des terres utilisées pour la sylviculture ou la production alimentaire soulève des préoccupations environnementales et sociales qui doivent être mises prises en compte parallèlement aux avantages climatiques et économiques des cultures spécialisées. Les stocks idéaux issus de cultures spécialisées proviendraient de cultures pouvant se développer sur des terres marginales autrement improductives ou provenant de récoltes déjà effectuées.

Ensemble, les résidus agricoles et les cultures destinées à cet usage peuvent ouvrir la voie à l'augmentation du stockage du carbone dans l'environnement bâti, sans entrer en concurrence avec la production alimentaire ni nécessiter l'utilisation de terres supplémentaires. Les produits à base de résidus, en particulier, offrent des occasions de générer de nouveaux produits tout en préservant les terres agricoles pour les cultures vivrières.

3.2 Avantages pour la santé des sols et la séquestration du carbone

Le sol est un puits de carbone essentiel, mais une gestion non durable des terres l'épuise, menaçant la sécurité alimentaire et la stabilité des écosystèmes [17]. Les pratiques agricoles régénératrices, telles que les cultures de couverture, la réduction du labour, la rotation des cultures et l'intégration des cultures et du bétail, contribuent à remettre en état la santé des sols, à accroître la biodiversité et à améliorer la séquestration du carbone dans le sol [18].

Les cultures offrent un double avantage climatique : elles éliminent le carbone de l'atmosphère pendant leur croissance et le restituent au sol par le biais de leurs racines et de la matière organique. Les cultures pérennes peuvent offrir encore plus d'avantages, grâce à leurs racines profondes qui améliorent la structure du sol, préviennent l'érosion et stockent plus de carbone que les cultures annuelles.

En donnant la priorité aux matières premières issues de l'agriculture régénérative, le secteur de la construction peut soutenir la gestion responsable des terres tout en réduisant le carbone intrinsèque dans les bâtiments, renforçant ainsi les avantages mutuels de l'agriculture et de l'action climatique.

3.3 Occasions économiques pour les agriculteurs et le secteur manufacturier

Les produits de construction biosourcés peuvent générer de nouvelles sources de revenus pour les agriculteurs canadiens en transformant les cultures et les résidus en produits de construction. En utilisant des résidus agricoles tels que la paille, les copeaux de chanvre et les sous-produits du maïs dans la construction, les agriculteurs peuvent accéder à de nouveaux marchés. Les cultures pérennes cultivées sur des terres marginales élargissent ces occasions. Elles permettent une utilisation productive des terres impropres aux cultures conventionnelles, tout en offrant une flexibilité de récolte et des coûts de production réduits.

L'intégration de ces matières premières dans le secteur de la construction peut diversifier les revenus agricoles et protéger les agriculteurs contre la volatilité des prix des matières premières. Le développement de l'industrie de la construction biosourcée peut renforcer les économies rurales en créant une demande pour des installations de transformation, des activités de fabrication et de la main-d'œuvre qualifiée situées à proximité des sources de matières premières, ce qui favorise l'emploi local tout en réduisant les coûts de transport [19].

Le secteur manufacturier canadien devrait bénéficier des investissements dans les produits de construction biosourcés à faible teneur en carbone, ce qui créerait des emplois, revitaliserait les communautés rurales et renforcerait la compétitivité du Canada dans le domaine des matériaux durables. L'alignement de la construction sur l'agriculture établit un lien entre la santé des sols, les moyens de subsistance en milieu rural et l'action climatique. En utilisant des matières premières biosourcées, le secteur peut réduire ses émissions, remettre en état les terres dégradées et créer de nouvelles occasions économiques tout au long de la chaîne de valeur, de l'agriculture et la transformation à la fabrication et la recherche avancée.

4. Résidus et sous-produits forestiers pour la construction

4.1 Une ressource abondante

Le secteur forestier canadien est l'un des plus importants au monde, avec 225 millions d'hectares de forêts aménagées [20]. Cette vaste ressource génère environ 21 millions de tonnes de résidus forestiers par année, notamment de la sciure, des copeaux de bois, de

l'écorce, des rémanents d'exploitation forestière et des sous-produits de la pâte à papier, dont une grande partie demeure sous-utilisée [21]. Ces matières premières proviennent de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement, des scieries et des usines de pâte à papier aux entreprises de transformation du bois. Les opérations d'éclaircissement des forêts, qui visent à favoriser la santé des forêts et à réduire les risques de feux de forêt, génèrent également des fibres supplémentaires qui sont souvent jetées ou brûlées.

Bon nombre de ces sous-produits peuvent être réutilisés dans la fabrication de produits de construction durables et à faible teneur en carbone, tels que les panneaux de fibres, les isolants en fibres de bois et les produits en bois d'ingénierie. L'utilisation accrue des résidus forestiers permet de réduire les déchets, d'augmenter la valeur du bois récolté et de réduire les émissions provenant des méthodes d'élimination telles que le brûlage ou la décomposition. Grâce au développement du marché et à l'innovation, ces matières premières pourraient réduire la dépendance à l'égard des peuplements vierges tout en renforçant l'économie canadienne.

4.2 Possibilités économiques et occasions d'emploi

L'utilisation accrue des résidus forestiers dans la construction représente une occasion économique majeure. Elle crée de nouvelles sources de revenus pour les scieries et les usines de pâte à papier tout en stabilisant une industrie vulnérable aux fluctuations de la demande mondiale de bois. La demande accrue de sous-produits à base de bois peut stimuler les investissements dans les installations de transformation et la fabrication de pointe, créant ainsi des emplois qualifiés dans les régions forestières.

Les résidus forestiers constituent une alternative évolutive et à faible teneur en carbone aux produits de construction à forte intensité d'émissions. En créant de nouveaux marchés et de nouveaux emplois, l'investissement dans les sous-produits forestiers garantit que le secteur forestier canadien continue d'évoluer vers des applications durables et à forte valeur, ce qui renforce les économies rurales tout en réduisant l'empreinte carbone de la construction résidentielle.

5. Évaluation des matières premières canadiennes pour les produits de construction

L'utilisation de matières premières d'origine biologique dans la construction n'est pas seulement une ambition futuriste, elle est déjà réalisable aujourd'hui. Le tableau 1 présente une gamme de matières premières viables au Canada, capables de produire des matériaux de construction à haut rendement et à faible teneur en carbone. Cette section explore les occasions prometteuses proches du marché ainsi que les matières premières émergentes, fournissant une base pour orienter les recherches futures et les investissements stratégiques qui maximiseront les avantages climatiques, économiques et sociaux.

Il est important de tenir compte des autres demandes relatives à ces sous-produits, telles que le maintien de la santé des sols, la fourniture de litière et d'aliments pour animaux, tout en tenant compte des pertes liées aux inefficacités de la récolte et du stockage. Pour tenir compte de ces

considérations, le présent rapport applique un facteur de réduction de 50 % au volume total des résidus de biomasse disponibles, ce qui constitue une estimation très prudente permettant de prendre en compte un large éventail d'utilisations concurrentes des matières premières et d'éviter de surestimer les matériaux disponibles pour la construction. Cette approche, conforme aux méthodes utilisées par d'autres dirigeants de l'industrie, permet de garantir que seuls les matériaux excédentaires sont considérés comme disponibles pour des utilisations dans le domaine de la construction.

Chaque section consacrée aux matières premières comprend un tableau récapitulant certaines des informations sur les produits de construction actuellement fabriqués à partir de ces matériaux. Ces informations sont tirées d'un tableau Excel évolutif sur les produits de construction, présenté en annexe. Comme il s'agit d'un domaine en pleine évolution, le tableau est régulièrement mis à jour afin de refléter les nouveaux produits et les innovations. Les produits fabriqués par au moins un fabricant canadien sont indiqués par un astérisque (*).

Canadian Feedstock	Seeded Hectares	Harvested Yield, t	Grain-to-Residue Factor ^a	Total Residue, t	Available Residue, t	Stomch	Highest Feedstock Concentration	Carbon % by Mass	Products	Building Application	Potential Building Applications
Wheat	10,834,700 ^b	34,958,232 ^c	1.5	52,437,348 ^d	26,218,674	\$305 ^e	Saskatchewan, Alberta, Manitoba ^g	47	25	Insulation Block/Batt, Structural Sheathing, Pre-fab SIP, Insulation Loose-Fill, Insulation Continuous Board, Interior Finishes, Insulation Batt	Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Barley	2,592,300 ^b	8,143,897 ^c	1.0	8,143,897 ^d	4,071,949	\$285 ^e	Saskatchewan, Alberta, Manitoba ^g	45	0	N/A	Same products as wheat straw, Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Oats	1,173,500 ^b	3,357,551 ^c	1.0	3,357,551 ^d	1,678,776	\$335 ^e	Saskatchewan, Manitoba ^g	47	0	N/A	Same products as wheat straw, Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Grain Corn	1,477,500 ^b	15,344,938 ^c	1.0	15,344,938 ^d	7,672,469	\$225 ^e	Ontario, Quebec, Alberta ^g	46	4	Interior Finishes, Insulation Continuous Board, Structural Sheathing	Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Flax	203,800 ^b	257,974 ^c	N/A	386,961 ^d	193,481	\$610 ^e	Saskatchewan, Alberta, Manitoba ^g	49	2	Insulation Batt, Interior Finishes	Insulation Block/Batt, Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Sunflower	24,400 ^b	50,860 ^c	N/A	76,020 ^d	38,010	N/A	Manitoba and Ontario ^g	55	0	N/A	Insulation Block/Batt, Insulation Loose Fill, Insulation Batt, Insulation Continuous Board, Structural Sheathing, Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Hemp	14,800 ^b	17,551 ^c	N/A	26,327 ^d	12,163	\$1,000 ^e	Alberta, Saskatchewan, Manitoba ^g	50	15	Insulation Batt, Insulation Continuous Board, Aggregate, Insulation Loose-Fill, 2-in-1 Structure & Insulation, Insulation Block/Batt, Cladding, Structural Sheathing	Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Forestry Residue (2022 data)	225,000,000 ^b	131,555,229 ^c	N/A	21,000,000 ^d	10,500,000	N/A	British Columbia, Quebec, and Ontario ^g	52	17	Cladding, Interior Finishes, Pre-fab SIP, 2-in-1 Structure & Insulation, Insulation Continuous Board, Insulation Batt, Insulation Loose-Fill	Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Recycled/Reclaimed Wood (2020 data)	N/A	N/A	N/A	N/A	2,461,000 ^c	N/A	ChenUrban centers	45	2	Framing/Structure	Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Recycled Glass (2022 data)	N/A	N/A	N/A	N/A	455,000 ^c	N/A	ChenUrban centers	N/A	4	Aggregate, Insulation Continuous Board	
Recycled Paper/ Cardboard (2022 data)	N/A	N/A	N/A	N/A	3,571,000 ^c	N/A	ChenUrban centers	N/A	15	Insulation Loose Fill, Pre-fab SIP, Insulation Blanket, Insulation Batt, Structural Sheathing, Interior Finishes	
Perennial Grasses	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	53	1	Structural Sheathing	Insulation Continuous Board, Insulation Loose Fill, Pre-fab SIP, Insulation Batt, Structural Sheathing, Mineralized for below grade insulation, Pyrolyzed for biochar
Mycelium	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	Framing/Structure, Insulation Block/Batt, Insulation Continuous Board, Insulation Loose-Fill, Pre-fab SIP	

^a - metric tonnes

^b Seeded Hectares^c for each crop are based on 2024 Canadian data unless otherwise noted.

^c Harvested Yield^c is reported in metric tonnes and reflects the primary crop output (e.g., cereal grain, flax seed, corn cobs), not the residue.

^d Total Residue^c is estimated using residue factors drawn from R. L. For crops lacking published factors, an average residue factor of 1.5 was applied, representing the average ratio of byproduct to harvested crop. For forestry residues, a separate dataset was used to determine values.

^e Available Residue^c represents the portion of total residue potentially usable for manufacturing. A 0.5 availability factor was applied to account for competing uses like animal bedding, soil amendments, harvesting losses, and bioenergy demand.

^f Cost per tonne^c is provided to offer insight into the economic feasibility of each feedstock. It is important to note that these values reflect the price of the main crop, not the residue itself. Further research is needed to better understand residue-specific cost.

^g Carbon % by Mass^c: Carbon content values are drawn from the Pyris Database and represent average dry mass carbon percentages for each feedstock.

^h Products^c column reports a number of known building products made from each feedstock. This offers a snapshot of current market use but does not capture the full scope of emerging products in this rapidly developing field.

ⁱ Potential Building Applications^c column identifies the range of materials developed for each feedstock, representing feedstock versatility and market potential. A wider range of applications increases the economic viability of scaling production in Canada.

^j Potential Applications^c column outlines future opportunities based on Builders for Climate Action's internal knowledge of feedstock properties and product requirements. Highlight promising directions for further research and industry development.

5.1 Résidus agricoles et cultures spécialisées

5.1.1 Paille de céréales

La paille de céréales est l'une des matières premières agricoles les plus prometteuses pour la fabrication de produits de construction à faible teneur en carbone au Canada. Selon les estimations, jusqu'à 34 millions de tonnes de paille pourraient être rendues disponibles chaque année pour des applications dans le domaine de la construction. Son abondance, ses propriétés matérielles favorables et ses exigences minimales en matière de transformation en font une option viable dès maintenant pour le développement de produits de construction stockant le carbone. À l'échelle mondiale, au moins 25 produits de construction spécifiques – allant des produits d'isolation et des panneaux aux produits de finition intérieure – sont déjà fabriqués à partir de paille. Au moins trois de ces produits sont fabriqués au Canada, et le marché offre un potentiel important pour le développement d'une production nationale. Cette polyvalence et ce rendement éprouvé font de la paille une matière première évolutive, prête à être davantage utilisée dans la construction canadienne.

Qualités du matériau

La paille est un matériau léger mais durable qui présente des qualités thermiques, hygrométriques et de résistance au feu favorables, ce qui la rend mieux adaptée à la construction. Sa structure cellulaire offre une isolation naturelle et une protection contre l'humidité, tandis que son compactage dense et ses revêtements à base de chaux ou d'argile améliorent sa résistance au feu. Des exemples historiques, tels que les bâtiments centenaires construits en bottes de paille du Nebraska, démontrent la remarquable longévité de la paille lorsqu'elle est correctement utilisée. Au Canada, les murs en bottes de paille sont utilisés dans les maisons conformes au code depuis le début des années 1990, alors que les recherches de la Société canadienne d'hypothèques et de logement ont confirmé que les rendements des murs en bottes de paille en matière d'incendie, de chaleur et d'humidité répondaient aux objectifs du Code national du bâtiment [22], [23], [24], [25]. Des centaines de maisons en bottes de paille ont été construites à travers le Canada, renforçant ainsi la viabilité éprouvée de la paille dans les climats et les contextes réglementaires canadiens.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

La paille est un sous-produit de la production céréalière qui ne nécessite aucune modification de la rotation des cultures ou de l'utilisation des terres. La récolte, la mise en ballots et le broyage sont des pratiques agricoles courantes au Canada, et la plupart des agriculteurs disposent déjà de l'équipement, des connaissances et des processus nécessaires pour gérer efficacement ces tâches. Les processus de manutention de la paille requis pour la plupart des produits de construction recommandés, tels que la mise en ballots, le broyage ou la densification, s'alignent directement sur les opérations agricoles existantes et ne nécessitent pas de nouvelles machines ou de compétences spécialisées.

Le moment de la récolte de la paille est important, car elle a lieu après la récolte des céréales, lorsque les tiges doivent être suffisamment sèches pour être stockées et transformées. La gestion de l'humidité est importante pour éviter la moisissure ou la dégradation, mais ces considérations font déjà partie des pratiques de gestion de la paille.

Impacts environnementaux

La production céréalière peut avoir des impacts environnementaux importants, mais en tant que sous-produit, la paille n'implique pas de charges supplémentaires en termes d'utilisation des terres ou d'agriculture. En fait, le fait de détourner la paille des méthodes d'élimination courantes telles que le brûlage ou la décomposition permet d'éviter les émissions de carbone associées. La réutilisation de la paille dans des produits de construction durables permet de stocker efficacement le carbone qui, autrement, serait libéré. L'adoption de pratiques agricoles régénératives, telles que la réduction du labour, les cultures de couverture et la rotation des cultures, peut réduire davantage l'impact environnemental de la production céréalière tout en améliorant la santé des sols et en augmentant le potentiel de séquestration du carbone dans le système agricole.

Disponibilité

En 2024, le Canada a récolté environ 46,5 millions de tonnes métriques de céréales, principalement en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba, bien que certaines régions de l'Ontario et du Québec produisent également des céréales. Pour chaque tonne de céréales récoltée, environ 1 à 1,5 tonne de paille est produite [26], ce qui génère environ 64 millions de tonnes de paille par année. Compte tenu des utilisations existantes et potentielles, notamment comme litière pour animaux, amendement du sol et bioénergie, on estime qu'environ 32 millions de tonnes de paille pourraient être disponibles pour la fabrication de produits de construction.

En tant que sous-produit de la production alimentaire de base, l'approvisionnement en paille devrait rester stable et croître parallèlement au secteur céréalier canadien. Les prévisions suggèrent une expansion continue de la production céréalière, augmentant l'approvisionnement en paille en tant que matière première évolutive pour les applications de construction [27].

Compte tenu de la vaste superficie agricole du Canada et de la concentration de la production céréalière, la paille est une ressource répartie régionalement qui convient mieux aux chaînes d'approvisionnement locales et nationales. La demande croissante de produits de construction à faible teneur en carbone offre une occasion de renforcer les marchés liés à la paille, en créant de nouvelles possibilités pour les agriculteurs tout en soutenant le secteur de la construction à faible teneur en carbone au Canada.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

L'abondance de la paille et son intégration dans les exploitations agricoles existantes en font une matière première pratique et peu coûteuse pour la fabrication de produits de construction. La plupart des agriculteurs récoltent et manipulent déjà la paille, qui ne nécessite qu'un traitement supplémentaire minimal pour être utilisée dans l'isolant en vrac et la construction en bottes de paille, ce qui implique généralement seulement le séchage, le dimensionnement ou le

broyage de base. D'autres types de produits, tels que les isolants continus, les panneaux de paille comprimée, les panneaux intérieurs et les alternatives au MDF, nécessitent des étapes de fabrication supplémentaires, notamment l'ajout d'agents liants et des traitements thermiques ou sous pression. Bien que ces processus soient plus complexes, les DEP de ces types de produits démontrent généralement un stockage de carbone supérieur aux émissions liées à leur transformation.

La paille étant un sous-produit de la production alimentaire de base, son approvisionnement devrait rester stable et croître parallèlement à l'expansion du secteur céréalier canadien. L'ampleur de la production céréalière existante et la vaste superficie agricole du Canada font de la paille une matière première particulièrement abondante et répartie de manière régionale. La demande accrue du marché pour les produits de construction à base de paille pourrait renforcer davantage les chaînes d'approvisionnement, stimuler les investissements dans les capacités de transformation et ouvrir de nouvelles possibilités pour les agriculteurs canadiens.

Construction et utilisation des produits

La paille de céréales est utilisée dans une large gamme de produits de construction à l'échelle mondiale, comme le montre le tableau 2.

Tableau 2 : Produits de construction à base de paille de céréales

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Bottes de paille	Blocs isolants*	Isolation des murs (panneaux préfabriqués et construits sur site)
Paille longue	Panneaux en paille comprimée (CSB)	Cloisons et panneaux avec une isolation continue
Paille déchiquetée	Isolant flexible en rouleaux	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
Paille déchiquetée	MDF* à base de paille	Moulures, armoires, menuiserie
Paille hachée	Isolant en vrac*	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux de paille orientés	Revêtement structurel pour murs extérieurs et intérieurs, toits et plafonds

Une grande variété de ces produits à base de paille sont utilisés dans la fabrication de systèmes de panneaux pour murs, toits et planchers au Canada et dans le monde entier.

Grâce à son abondance, sa polyvalence et son rendement éprouvé, la paille est particulièrement bien placée pour devenir une matière première de base pour le secteur canadien de la construction à faible teneur en carbone. La technologie et les produits existent :

des investissements ciblés pourraient transformer des millions de tonnes de paille canadienne en produits de construction durables et stockant le carbone, qui répondent à nos objectifs climatiques, économiques et en matière de logement.

Conformité au code

Compte tenu de la grande diversité des types de produits, il n'existe pas de code unique pour tous les produits à base de paille.

La construction en bottes de paille est reconnue dans l'annexe S de l'International Residential Code (IRC) aux États-Unis [28]. L'annexe S décrit les paramètres de rendement de la paille en ballots comme isolant mural, en précisant des valeurs thermiques comprises entre R-1,55 et R-1,85 par pouce selon l'orientation des ballots, et une résistance au feu d'une à deux heures en fonction des revêtements extérieurs. Elle traite également de la protection contre l'humidité, de l'épaisseur du plâtre et des exigences structurelles, permettant aux murs en bottes de paille de servir d'assemblages porteurs ou non porteurs lorsqu'ils sont correctement conçus.

Au Canada, il n'existe pas de code national explicite reconnaissant les constructions à base de paille. Les projets sont généralement approuvés sur la base de rapports d'ingénierie spécifiques au site ou de voies de conformité alternatives au niveau municipal. L'annexe S constitue un précédent solide pour l'élaboration de voies de conformité canadiennes plus claires. À mesure que l'intérêt pour les constructions à base de paille s'accroît, en particulier dans les applications industrialisées telles que les panneaux de paille, il est possible de faire progresser les essais et la certification normalisés, ouvrant ainsi la voie à une adoption plus large par le marché.

5.1.2 Maïs

Le maïs est une culture largement disponible, et ses résidus présentent un fort potentiel en tant que matière première renouvelable pour les produits de construction à faible teneur en carbone. Produits en grandes quantités parallèlement au grain de maïs, les résidus – notamment les tiges, les feuilles, les cosses et les épis – constituent une ressource évolutive qui ne nécessite pas d'utilisation de terres supplémentaires. Il existe peu de produits sur le marché utilisant les sous-produits du maïs comme matière première, mais un certain nombre d'innovations montrent son potentiel pour les produits d'isolation, les panneaux et les produits de finition intérieure, positionnant les résidus de maïs comme une matière première prometteuse pour le secteur canadien de la construction biologique.

Qualité des matériaux

Les résidus de maïs, qui comprennent les tiges, les feuilles et les cosses laissées après la récolte, sont un sous-produit agricole abondant actuellement sous-utilisé, sauf comme litière pour le bétail ou pour amender le sol [29]. Représentant près de la moitié de la masse sèche d'une récolte de maïs, les résidus offrent un potentiel important en tant que matière première durable pour la construction sans nécessiter d'utilisation de terres supplémentaires [27], [30].

Sa structure fibreuse et peu dense et sa teneur élevée en cellulose font des résidus de maïs un matériau bien adapté aux produits de construction à base de fibres, tandis que leur abondance

renforce leur attrait en tant que ressource renouvelable. Après la récolte, la teneur en humidité des résidus varie généralement entre 15 et 25 % en poids et doit être surveillée pendant le stockage afin d'éviter toute détérioration ou développement de moisissures [30].

Les rafles de maïs, produites séparément en grandes quantités lors du détachement des grains, représentent environ 18 kg pour 100 kg de grains de maïs récoltés [31]. Bien qu'elles soient souvent difficiles à éliminer, les rafles de maïs offrent également des occasions de conversion en produits de construction biosourcés.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Le maïs est généralement cultivé en rotation avec le soja ou une combinaison de soja et de blé d'hiver, ce qui favorise la santé des sols et le cycle des nutriments [32]. Cependant, sans apports organiques supplémentaires tels que le fumier, l'élimination continue des résidus de maïs peut progressivement appauvrir la matière organique du sol, ce qui a un impact sur la productivité à long terme. Les résidus de maïs sont généralement stockés en ballots, mais peuvent également être recueillis en vrac. La contamination par la saleté et les cendres est un risque qui dépend de la date et de la méthode de récolte, et qui a un impact sur la qualité des matériaux et l'efficacité du traitement [33].

Le principal défi lié à l'utilisation des résidus de maïs réside dans la logistique de la récolte et du traitement. Les équipements conventionnels de récolte du maïs laissent souvent les résidus sur les champs humides, ce qui augmente la contamination et accélère l'usure des équipements. Si des moissonneuses spécialisées peuvent améliorer la qualité des matières premières en réduisant la saleté et les cendres, leur adoption reste limitée en raison de leur coût. La constitution d'équipes de récolte secondaires pour ramasser les résidus immédiatement après la récolte des céréales pourrait permettre de minimiser les perturbations dans le calendrier des exploitations agricoles, d'améliorer la qualité des matières premières et d'accroître la faisabilité de l'utilisation des résidus de maïs comme intrant pour la fabrication de produits de construction. En revanche, les rafles de maïs peuvent être facilement recueillies dans les installations de transformation des grains, où elles sont généralement jetées comme déchets.

Impacts environnementaux

Les résidus de maïs représentent une matière première renouvelable à faible teneur en carbone qui tire parti des productions agricoles existantes sans nécessiter de nouvelles utilisations des terres. La transformation des résidus excédentaires en produits de construction offre un potentiel important de stockage de carbone, tout en préservant la santé des sols grâce à la rétention partielle de la biomasse.

Il est essentiel de trouver un équilibre entre l'utilisation des résidus et la santé des sols; les experts recommandent de laisser 30 à 50 % des résidus dans les champs afin de maintenir la fertilité et de prévenir l'érosion [33], [34]. Les résidus restants constituent une matière première viable pour la construction tout en favorisant la durabilité agricole [35].

Disponibilité

Le maïs est l'une des principales cultures du Canada. En 2024, le Canada a produit plus de 15 millions de tonnes de maïs, principalement en Ontario, au Québec et au Manitoba. Pour chaque tonne de maïs récoltée, il reste environ une tonne de résidus. Avec une production qui devrait atteindre 19,4 millions de tonnes au cours de la saison agricole 2024-2025 [27], les résidus de maïs représentent un flux de sous-produits important et en croissance. Si une partie de ces résidus contribue à la santé des sols et sert de litière pour le bétail, il reste un surplus important qui peut être utilisé pour le développement de produits de construction. La proximité des centres urbains réduit encore les coûts de transport et renforce la viabilité économique.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

La valeur marchande des résidus de maïs varie selon les régions, sous l'influence des coûts de remplacement des nutriments et de la concurrence des marchés de l'alimentation animale, de la bioénergie et de la paille [30]. La récolte et la transformation représentent des obstacles majeurs : les équipements spécialisés améliorent la qualité des matières premières, mais nécessitent des investissements. Un soutien ciblé aux systèmes de récolte et aux infrastructures de transformation pourrait faire des résidus une matière première évolutive et abordable pour l'économie biosourcée du Canada.

Construction et utilisation des produits

Bien qu'elle soit encore émergente sur les marchés de la construction, la paille de maïs présente un fort potentiel en tant que matière première renouvelable pour les produits de construction à base de fibres, dont des exemples sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Produits de construction à partir de résidus de maïs

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Paille de maïs	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
	Isolant flexible en rouleaux	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	OSB de maïs	Revêtement structurel pour murs extérieurs et intérieurs, toitures et plafonds
Épis de maïs	Panneaux rigides	Finition des murs intérieurs et des plafonds

Ces innovations démontrent le potentiel des résidus de maïs en tant que ressources renouvelables et évolutives pour la construction, remplaçant des produits tels que l'isolation en fibre de verre, la mousse rigide, les panneaux OSB et les revêtements intérieurs. Grâce à un approvisionnement agricole important et à l'innovation croissante en matière de produits, les produits à base de maïs pourraient ouvrir de nouvelles possibilités pour les agriculteurs.

canadiens tout en favorisant la construction de bâtiments à faible teneur en carbone et à haut rendement.

Conformité au code

Actuellement, les produits isolants à base de résidus de maïs sont en phase de développement et d'essai. La conformité explicite au Code national du bâtiment du Canada n'a pas encore été pleinement établie; cependant, la conformité avérée de produits isolants similaires à base de fibres agricoles suggère fortement une voie viable pour une future certification.

5.1.3 Chanvre

La culture du chanvre a été légalisée au Canada en 1998, après avoir été interdite en tant que culture commerciale depuis 1938 en vertu de la *Loi sur l'opium et les stupéfiants* [36], [37]. Historiquement utilisé comme produit de construction en Europe et en Asie, le chanvre refait aujourd'hui surface en tant que matière première polyvalente et à faible teneur en carbone. Le chanvre utilisé pour les produits de construction peut provenir soit de résidus issus de marchés primaires tels que l'huile de graines ou les textiles, soit d'une culture spécialement destinée à la construction, ce qui le rend unique dans les multiples catégories de matières premières indiquées dans le présent rapport.

Les recherches menées pour ce rapport ont permis d'identifier 15 produits de construction à base de chanvre, dont 10 fabriqués au Canada, soulignant à la fois le potentiel du marché et leur capacité nationale émergente. Cependant, la culture et la transformation du chanvre pour des applications dans le domaine de la construction restent limitées. Une utilisation accrue du chanvre dans les produits de construction pourrait stimuler la demande du marché, favorisant ainsi l'expansion de la culture du chanvre et des infrastructures de transformation à travers le Canada.

Qualité des matériaux

Le chanvre se compose de fibres libériennes résistantes entourant un cœur ligneux léger appelé « hurd » ou « shiv ». Les fibres libériennes sont durables, légères et souples, ce qui les rend idéales pour l'isolation et la fabrication de matériaux composites. Le « hurd » de chanvre est poreux et riche en silice, ce qui contribue à d'excellents rendements thermiques et acoustiques dans des produits tels que le béton de chanvre et les panneaux de fibres. Lorsqu'ils sont combinés à de la chaux, les produits à base de chanvre deviennent naturellement résistants au feu, et leur structure fibreuse améliore l'absorption acoustique, créant des espaces intérieurs écoénergétiques et silencieux.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Avec une saison de croissance courte de 90 à 120 jours, le chanvre peut se développer dans de nombreux climats variés du Canada avec un minimum d'intrants chimiques [36]. Ses racines pivotantes profondes stabilisent les sols et brisent les cycles des ravageurs et des maladies, ce qui le rend bien adapté à l'agriculture régénérative [38]. Cependant, l'optimisation du rendement

en fibres peut nécessiter l'utilisation d'engrais, et les tiges résistantes du chanvre peuvent accélérer l'usure des équipements de récolte, ce qui augmente les coûts de production [39].

Après la récolte, les tiges de chanvre sont soumises à un rouissage – soit de façon naturelle dans les champs, soit accéléré à l'aide d'eau, d'enzymes ou de produits chimiques – afin de séparer les fibres du cœur ligneux. Cette étape est suivie d'un décortiquage mécanique visant à extraire les fibres libériennes et l'écorce.

Des recherches et des investissements supplémentaires sont nécessaires pour optimiser les méthodes de récolte, les techniques de transformation et le stockage des fibres. Les équipements agricoles actuels peuvent nécessiter des modifications pour traiter efficacement les fibres de chanvre, et les méthodes de stockage doivent être affinées afin de garantir la qualité des fibres pour les applications dans le domaine de la construction.

Impacts environnementaux

Le chanvre offre des avantages environnementaux considérables. En tant que culture annuelle à croissance rapide, il absorbe et stocke des volumes importants de CO₂ dans le sol, emmagasinant ainsi du carbone à la fois dans la plante et dans le sol. Sur une même superficie, le chanvre peut produire jusqu'à quatre fois plus de biomasse que la même superficie de forêt [40]. De plus, le chanvre peut se développer avec un minimum d'intrants, ce qui réduit la dépendance aux engrais synthétiques et aux pesticides. Cela permet non seulement de réduire l'impact environnemental, mais aussi de rendre le chanvre plus rentable pour les agriculteurs, qui bénéficient d'une réduction des coûts des intrants et d'une amélioration de la santé des sols.

Disponibilité

Depuis la légalisation du chanvre industriel au Canada en 1998 [37], 90 % de la culture s'est développée en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba [41]. En 2024, environ 14 800 hectares ont été cultivés, principalement pour l'alimentation et les fibres, malgré les changements réglementaires de 2018 qui ont élargi le marché légal du cannabis au Canada [42], [43].

Bien que la culture du chanvre reste concentrée dans les Prairies, l'étendue des terres agricoles et le climat favorable du Canada offrent un potentiel considérable pour augmenter la production de chanvre à mesure que la demande du marché augmente. L'augmentation de la production alimentaire et de cannabis pourrait générer des sous-produits intéressants, fournissant des fibres et des tiges supplémentaires pour la construction. En outre, la demande croissante de produits de construction à base de chanvre pourrait encourager la culture dédiée du chanvre à l'échelle nationale, soutenant ainsi la diversification agricole et les infrastructures de transformation régionales.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

À l'heure actuelle, seul un nombre limité de transformateurs canadiens, concentrés dans les Prairies, sont équipés pour décortiquer le chanvre à l'échelle de la construction [42]. De nouvelles initiatives, telles que les décortiqueuses mobiles, ont pour but de remédier à ce goulot

d'étranglement. En l'absence de capacités nationales suffisantes, certains projets dépendent de la chènevotte de chanvre expédiée de partout au Canada ou importée d'Europe. Les coûts de transport élevés font grimper les prix à plus de 1 000 dollars la tonne, ce qui crée un obstacle important à l'adoption par le marché [44].

Construction et utilisation des produits

Le chanvre est l'une des matières premières les plus polyvalentes évaluées, avec des applications allant de l'isolation aux finitions intérieures, en passant par les matériaux composites structuraux, les panneaux acoustiques et les revêtements. La fibre libérienne et le chanvre sont utilisés dans une large gamme de produits, ce qui démontre l'adaptabilité du chanvre dans des rôles structuraux et non structuraux. Des exemples de produits de construction à base de chanvre sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 : Produits de construction à base de chanvre

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Fibre libérienne	Isolant flexible en matelas*	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
	Rouleaux fins et légers	Sous-couche pour moquette
	Isolant en vrac*	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
Tige complète	Panneaux comprimés	Revêtement de sol, moulures
	Panneaux rigides	Finition des murs intérieurs et des plafonds
	Panneaux rigides	Revêtement structural pour murs extérieurs et intérieurs, toits et plafonds
Hurd/shiv	Isolant semi-rigide (béton de chanvre)	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Blocs isolants (béton de chanvre)*	Isolation des murs
	Agrégat minéralisé	Agrégat pour béton

Malgré cette gamme d'applications et la croissance des marchés en Europe et aux États-Unis, le chanvre reste une ressource sous-utilisée au Canada. À l'heure actuelle, plusieurs petites entreprises canadiennes fabriquent des produits de construction à base de chanvre. L'augmentation de la production et de la capacité de transformation nationales permettrait de

libérer le potentiel du chanvre en tant que matière première évolutive et à faible teneur en carbone, capable de remplacer les matériaux à forte intensité carbone dans de nombreuses catégories de produits de construction.

Conformité au code

Chaque type de produit à base de chanvre nécessite des considérations particulières en matière de conformité aux codes. La construction en béton de chanvre – un matériau composite constitué de chanvre et d'un liant à base de chaux – est reconnue par le Code international du bâtiment résidentiel (annexe BL) et offre des propriétés thermiques fiables (R-1,2 à 2,1 par pouce, selon le compactage et les proportions du liant) et une excellente résistance au feu [45]. Les codes et les tests européens confirment les propriétés exceptionnelles du béton de chanvre en matière de régulation de l'humidité, de résistance à la moisissure et de résistance aux feux de classe A.

Les panneaux isolants en chanvre ont été testés pour répondre aux exigences des codes aux États-Unis et dans plusieurs pays européens. Un fabricant basé au Québec a récemment obtenu l'agrément du Centre canadien des matériaux de construction (CCMC), ce qui témoigne d'une tendance croissante vers une acceptation généralisée [46].

5.1.4 Graminées vivaces

Les graminées vivaces, notamment le panic raide, le barbon de Gérard et le miscanthus, apparaissent comme des matières premières durables et stockant du carbone pour la construction. Leur capacité à pouvoir se développer sur des terres marginales, à améliorer la santé des sols et à séquestrer le carbone en fait une ressource canadienne prometteuse. Les premiers exemples sur le marché montrent que ces graminées ont le potentiel de compléter ou de remplacer des produits à forte intensité de ressources.

Qualité des matériaux

Les graminées vivaces peuvent produire une biomasse de différentes densités et longueurs de fibres, toutes potentiellement bien adaptées à des matériaux tels que les panneaux et les produits d'isolation [47]. Les fibres d'herbe correctement séchées présentent la même résistance à la moisissure, aux parasites et à la décomposition que les autres types de biomasse agricole, ce qui confirme leur durabilité en tant que produits de construction [48].

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Les agriculteurs peuvent facilement intégrer les graminées vivaces dans leurs activités existantes en raison de leur faible entretien et de la flexibilité des calendriers de récolte. Le panic raide, par exemple, peut être récolté au milieu de l'été pour servir de fourrage au bétail ou laissé sur pied jusqu'à l'automne ou au printemps pour être utilisé comme biomasse, ce qui permet aux agriculteurs d'ajuster le moment de la récolte en fonction de leurs besoins opérationnels. Le miscanthus, bien que non indigène, offre des rendements de biomasse plus élevés, ce qui renforce son attrait économique.

Comme la plupart des équipements utilisés pour le foin peuvent également être utilisés pour la culture et la récolte des graminées vivaces, la transition vers ces cultures ne nécessite que peu d'investissements supplémentaires [49]. Les graminées vivaces sont généralement stockées en ballots, qui doivent être conservées au sec, idéalement à l'intérieur. Le stockage à l'extérieur, plus facile à mettre en œuvre pour de nombreux agriculteurs, peut entraîner une certaine dégradation à la surface, mais les ballots du dessous restent protégés et utilisables.

Impacts environnementaux

Les graminées vivaces se développent sur des terres marginales avec un minimum d'intrants chimiques et de main-d'œuvre, offrant des rendements élevés tout en contribuant à la lutte contre l'érosion. Leurs systèmes racinaires profonds améliorent la santé des sols, renforcent la rétention d'eau et contribuent à la séquestration du carbone dans la biomasse et le sol. À chaque saison de croissance, les graminées vivaces déposent le CO₂ atmosphérique dans le sol, fonctionnant comme un puits de carbone en continu [50].

Les avantages environnementaux vont au-delà du stockage du carbone. Les structures racinaires permanentes minimisent la perturbation du sol, réduisent l'érosion, protègent la couche arable et limitent le ruissellement des sédiments dans les cours d'eau. Le miscanthus, en particulier, ne nécessite que peu ou pas de pesticides ou de fongicides, ce qui minimise le risque de lessivage des nutriments et de ruissellement de produits chimiques [48]. Par rapport aux cultures annuelles, ces systèmes préservent la matière organique du sol, réduisent la demande en engrais et protègent la biodiversité en fournissant un habitat et en stabilisant les écosystèmes.

Disponibilité

Le panic raide et le miscanthus ont fait l'objet de recherches en Ontario, menées par des groupes industriels et des établissements universitaires qui explorent leur potentiel en tant que cultures à faible apport et à haut rendement, bien que les données nationales complètes restent limitées [51]. Le sud de l'Ontario et les provinces des Prairies offrent des conditions idéales pour que ces graminées se développent sans entrer en concurrence directe avec la production alimentaire. De plus, les graminées vivaces récoltées dans le cadre de l'entretien régulier, comme la tonte dans les aéroports, sur les autoroutes et les sites industriels, fournissent de la biomasse pour la construction sans nécessiter une nouvelle utilisation des terres.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

En raison de leurs faibles intrants de culture et de leurs rendements élevés, les graminées vivaces ont des coûts de production faibles à modérés. Leur adaptabilité aux terres marginales renforce encore leur attrait économique. Pour rester attractives pour les agriculteurs, les rendements doivent être équivalents à ceux des cultures conventionnelles comme le maïs et le soja, soit généralement entre 200 et 300 dollars par tonne en sus des coûts directs [33]. Conscient de leurs avantages environnementaux, le ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires rurales de l'Ontario (MAAARO) propose des programmes de soutien financier pour encourager les agriculteurs à cultiver ces graminées vivaces.

Considérations supplémentaires : implications économiques

Au-delà des applications dans le domaine de la construction, les graminées vivaces offrent un potentiel économique plus large. Les intervenants du milieu agricole les considèrent comme un facteur de changement, capable de stimuler la croissance économique régionale grâce à la création d'emplois dans les domaines de la récolte, du transport, de la transformation et des chaînes d'approvisionnement connexes. L'émergence des marchés du carbone et les cadres politiques favorables pourraient encourager davantage leur adoption en récompensant les pratiques agricoles durables.

Construction et utilisation des produits

Des produits de construction à base de graminées vivaces commencent à faire leur apparition, démontrant leur potentiel à avoir un impact significatif sur le secteur de la construction à faible teneur en carbone au Canada. Des exemples de produits de construction à base de graminées sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5 : Produits de construction à base d'herbe

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Ballots	Blocs isolants	Isolation des murs (panneaux préfabriqués et construits sur site)
Herbe coupée	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, toitures et sols
	Panneaux orientés fabriqués à partir de fibres d'herbe	Revêtement structurel pour murs extérieurs et intérieurs, toitures et plafonds
Herbe déchiquetée	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
	MDF à base de fibres d'herbe	Moulures, armoires, menuiserie

Compte tenu de leur similitude structurelle avec la paille, les graminées vivaces pourraient facilement être adaptées à bon nombre des mêmes catégories de produits. Combinées à leur faible coût de culture, leur haute productivité et leurs risques environnementaux minimes, les graminées vivaces constituent une matière première prometteuse et évolutive pour la construction à faible teneur en carbone.

Conformité au code

À l'heure actuelle, aucun produit à base de fibres d'herbe n'est explicitement reconnu comme conforme au Code national du bâtiment du Canada. Il existe des précédents internationaux

pour les panneaux isolants et les panneaux orientés fabriqués à partir de fibres d'herbe, qui démontrent le potentiel de conformité au code après des tests et des processus de documentation normalisés [52].

5.2 Résidus forestiers

Les résidus forestiers sont l'une des matières premières à faible teneur en carbone les plus abondantes et les moins utilisées au Canada pour la construction, avec une production estimée à 21 millions de tonnes par année [53]. Sous-produits de la récolte et de la transformation du bois, les matériaux tels que les rémanents, l'écorce, la sciure et les copeaux de bois représentent une ressource nationale évolutive soutenue par les infrastructures de manutention existantes. Les arbres de petit diamètre abattus pour réduire la charge combustible dans les zones sujettes aux feux de forêt constituent une autre ressource importante. Ces résidus sont déjà utilisés dans une large gamme de produits de construction, dont plusieurs sont fabriqués au Canada, ce qui démontre un fort potentiel d'expansion de la production nationale et de transformation de ce flux de déchets en matériaux de construction durables et stockant le carbone. Forts de solides précédents internationaux et d'un intérêt national croissant, les résidus forestiers sont très bien placés pour soutenir la transition du Canada vers une construction circulaire à faible teneur en carbone.

Qualité des matériaux

Les résidus forestiers – notamment les copeaux de bois, la sciure, l'écorce et les copeaux – sont des matériaux denses, riches en carbone et dont les propriétés physiques sont bien connues. Lorsqu'ils sont transformés en isolants en fibres de bois, ces résidus atteignent des valeurs de rendement thermique de R-2,5 à R-4 par pouce et ont une bonne capacité de régulation de l'humidité [54], [55]. Leur densité contribue à leur résistance naturelle au feu, tandis que des traitements supplémentaires peuvent améliorer leur rendement là où c'est nécessaire.

La teneur en humidité varie considérablement tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Les résidus fraîchement récoltés contiennent généralement entre 30 et 60 % d'humidité en poids [56], ce qui nécessite un séchage ou un conditionnement avant leur utilisation dans les produits de construction. Dans les scieries, la sciure et les copeaux sont souvent stockés à l'intérieur, ce qui réduit leur exposition, tandis que d'autres résidus peuvent rester à l'extérieur, ce qui augmente leur absorption d'humidité et la nécessité éventuelle de les sécher ou de les traiter avant leur fabrication [57].

Les produits à base de bois offrent une bonne régulation de l'humidité et une bonne perméabilité à la vapeur, ce qui contribue à réguler les niveaux d'humidité et à réduire le risque de moisissure dans les assemblages muraux [56]. Ces qualités placent les résidus forestiers au même niveau que d'autres matières premières biologiques, offrant des rendements thermiques et en matière de régulation de l'humidité fiables lorsqu'ils sont traités de manière appropriée.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Le secteur forestier canadien génère de grands volumes de biomasse résiduelle – notamment des élagages, des écorces, des chutes, de la sciure et des copeaux – provenant de l'exploitation forestière et du sciage. Les résidus de scierie sont généralement plus propres et mieux adaptés aux produits de construction, tandis que les résidus du sol forestier nécessitent un séchage et un traitement supplémentaires en raison de leur taux d'humidité et de leur contamination plus élevées [58], [59]. Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour déterminer comment traiter et utiliser cette gamme diversifiée de résidus de manière appropriée.

Impacts environnementaux

Les résidus forestiers représentent un potentiel de matière première à faible teneur en carbone, car ils utilisent les sous-produits existants issus de l'exploitation forestière et des scieries. L'utilisation de résidus dans les produits de construction évite des impacts supplémentaires sur l'utilisation des terres et offre des avantages en termes de stockage du carbone lorsque les résidus sont transformés en produits de construction durables plutôt que d'être brûlés pour produire de l'énergie ou abandonnés à la décomposition.

Disponibilité

Le secteur forestier canadien couvre 225 millions d'hectares de terres forestières aménagées [20]. Selon le rapport sur l'État des forêts au Canada, les niveaux de récolte demeurent inférieurs aux limites d'approvisionnement durable, avec seulement deux tiers (147,3 millions de m³) des 215 millions de m³ d'approvisionnement durable estimés récoltés chaque année [60].

La foresterie génère d'importants sous-produits – éclaircies, copeaux de bois, sciure et écorce – dont une grande partie a toujours été brûlée ou laissée à la décomposition [59]. Environ un cinquième du bois rond récolté se transforme en résidus – sciure, écorce et copeaux – qui présentent un potentiel important pour une utilisation en termes de valeur ajoutée [58]. Des rapports récents indiquent que 21 millions de tonnes de résidus forestiers sont produits chaque année [53]. Après avoir pris en compte les utilisations concurrentes telles que la bioénergie et la production de pâte à papier, environ 10,5 millions de tonnes pourraient être disponibles pour la fabrication de produits de construction à faible teneur en carbone. Conscient de ce potentiel, le gouvernement canadien met l'accent sur la conversion de la biomasse forestière en bioproduits à plus forte valeur, positionnant les résidus comme des ressources précieuses pour les produits de construction [61].

Alors que la biomasse forestière a toujours été utilisée pour la bioénergie – passant de 3 à 4 % de l'approvisionnement énergétique du Canada dans les années 1970 à 5 à 6 % en 2020 –, la transformation des résidus en produits de construction durables permettrait de maximiser leur potentiel de stockage du carbone [62]. La plupart de ces résidus disponibles sont concentrés en Colombie-Britannique, ce qui reflète les opérations forestières à grande échelle de la province, avec un potentiel d'approvisionnement supplémentaire au Québec et en Ontario.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

Grâce aux systèmes de récolte de fibres de bois bien établis au Canada, le coût des résidus est principalement lié à la capacité de production locale et non aux difficultés de récolte [61]. Cependant, les activités de suivi des résidus forestiers demeurent incohérentes, ce qui crée des lacunes dans les données et limite l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement. Si des initiatives telles que la National Wood Residue Database (Base de données nationale sur les résidus de bois) et le modèle BIMAT visaient à améliorer la visibilité, ces outils sont aujourd'hui désuets. Les efforts récents du Centre canadien de la fibre de bois et de l'AIE Canada visent à quantifier la disponibilité des résidus et à améliorer l'efficacité de la chaîne d'approvisionnement [53], [63].

Pour développer l'utilisation des résidus forestiers dans la construction, il faudra mener davantage de recherches afin de déterminer si les équipements existants permettent de récupérer et de séparer efficacement les résidus en vue d'une utilisation à forte valeur ajoutée dans la construction, et comment des méthodes optimales de stockage et de prétraitement peuvent préserver la qualité des résidus, réduire leur teneur en humidité et rationaliser leur intégration dans la fabrication. Des études supplémentaires sont également nécessaires pour comprendre les contraintes plus générales, telles que l'insuffisance des installations de traitement, les difficultés liées à la collecte des matières premières et les utilisations concurrentes des résidus forestiers, notamment la production de bioénergie.

Implications économiques

L'industrie forestière canadienne, historiquement affectée par la volatilité du marché – comme en témoignent la fermeture de centaines d'usines et les pertes d'emplois importantes –, pourrait gagner en stabilité grâce à la diversification vers des produits biosourcés à forte valeur [64]. Des investissements stratégiques, l'amélioration des inventaires spatiaux et des politiques de soutien permettraient de développer des produits de construction à base de résidus forestiers [61]. Ces mesures sont non seulement conformes aux objectifs du Canada en matière de décarbonisation et d'économie circulaire, mais elles promettent également des avantages économiques et sociaux considérables, en revitalisant les communautés rurales tout en répondant au besoin urgent de solutions de construction durables [65].

Construction et utilisation des produits

Les résidus forestiers ont un large potentiel commercial et peuvent être utilisés dans une grande variété de produits de construction, comme le montre le tableau 6.

Tableau 6 : Produits de construction à partir de résidus forestiers

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Fibre de bois	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols

	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers*	Panneaux avec une isolation continue
	MDF	Moulures, armoires, menuiserie
Copeaux de bois	Panneaux de lamelles orientées	Revêtement structural pour murs extérieurs et intérieurs, toits et plafonds
Copeaux de bois	Panneaux rigides légers*	Coffrages isolants pour béton, isolation continue (au-dessus et en dessous du niveau du sol)
	Blocs isolants structurels	Systèmes de murs isolés porteurs
Laine de bois	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue, panneaux d'atténuation acoustique
Bûches de petit diamètre	Panneaux légers en bois massif	Structure des murs, du toit et du sol
	Bois de charpente	Structure des murs
Écorce déchiquetée	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, du toit et du plancher

Malgré les vastes ressources forestières du Canada, la production nationale de produits à base de résidus reste limitée. Parmi les exemples canadiens notables, citons le panneau SONOclimat ECO4 de MSL, un panneau isolant rigide en fibres de bois entièrement fabriqué à partir de fibres de bois recyclées et recyclables avec un liant à base de cire, ainsi que les coffrages isolants et les panneaux isolants de Nexcem, qui peuvent être utilisés sous le niveau du sol.

Avec l'un des plus grands secteurs forestiers au monde, l'expansion de la production nationale pourrait réduire les importations, créer des emplois qualifiés en milieu rural et renforcer la compétitivité du Canada dans le domaine de la construction à faible teneur en carbone. Des investissements ciblés et l'élaboration de codes sont nécessaires pour exploiter pleinement le potentiel des résidus forestiers et positionner le Canada comme un chef de file dans le domaine des produits de construction de nouvelle génération permettant le stockage du carbone.

Conformité aux codes

Chaque type de produit à base de résidus de bois nécessite des considérations particulières en matière de code. Des certifications du CCMC existent pour les produits en panneaux de fibres de bois et les coffrages isolants pour béton fabriqués au Canada. Des certifications

internationales ont été obtenues pour tous les types de produits, ce qui indique que les codes canadiens pourraient être satisfaits avec des essais adéquats.

5.3 Sous-produits industriels et flux de déchets post-consommation

La biomasse post-consommation, notamment le bois, le papier, le carton, le carton pour boîtes, les boîtes à boire et le verre recyclé, offre l'occasion de fabriquer des produits de construction à faible teneur en carbone à partir de ressources déjà en circulation. Sur les 34 millions de tonnes de déchets envoyés chaque année à la décharge, 11 % sont du papier, du carton et du carton pour boîtes, 9,9 % sont des produits du bois et 1,8 % sont du verre [66].

La récupération et la réutilisation de ces matériaux réduisent la demande en matériaux vierges à forte intensité d'émissions tout en stockant le carbone dans des applications de construction durables. Avec un approvisionnement abondant concentré dans les zones urbaines, ces flux de déchets offrent des matières premières fiables et évolutives pour la fabrication d'isolants, de panneaux et de composants structurels, soutenant directement les objectifs du Canada en matière de construction à faible teneur en carbone.

5.3.1 Déchets de papier, de carton et de carton pour boîtes

Depuis des décennies, les déchets de papier journal sont transformés en isolants cellulodiques, ce qui en fait l'un des rares produits stockant du carbone à être utilisé dans l'industrie canadienne de la construction. À l'échelle internationale, d'autres sources de fibres recyclées, notamment le carton, le carton pour boîtes et les boîtes à boire, sont de plus en plus utilisées dans les produits de construction. Ces fibres peuvent également renforcer des matériaux composites établis, mais aussi des matériaux composites émergents.

Qualité des matériaux

Les fibres provenant de produits papetiers post-consommation peuvent être extraites à l'aide de procédés industriels bien établis. Légères mais résistantes, ces fibres peuvent servir d'isolant en vrac ou être comprimées et liées pour obtenir une densité et une intégrité structurelle accrues. Elles offrent de bons rendements thermiques, une bonne protection contre l'humidité et une bonne étanchéité à l'air, mais nécessitent généralement des traitements de protection contre le feu.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Les programmes de recyclage mis en place à travers le Canada recueillent, trient et regroupent déjà les déchets à base de papier, fournissant ainsi des matières premières facilement accessibles aux fabricants de produits de construction. Si les matières premières recyclées peuvent présenter des niveaux de contamination variables provenant d'autres matériaux ou de déchets alimentaires, les méthodes industrielles de nettoyage et de traitement des fibres de papier recyclées sont bien établies et ne posent que des obstacles minimes aux fabricants.

Impacts environnementaux

L'utilisation de matériaux recyclés dans la construction offre des avantages significatifs en termes d'émissions de carbone, au-delà du simple fait de soustraire les déchets aux aires de décharge. Les produits en papier recyclé évitent l'extraction et la transformation de matières premières vierges et empêchent les émissions de méthane liées aux déchets provenant de la décomposition dans les aires de décharge.

Selon le type de produit, les résidus de fabrication issus des processus de nettoyage des fibres peuvent nécessiter un traitement et une élimination spéciaux en tant que déchets dangereux.

Disponibilité

Les Canadiens envoient au recyclage chaque année plus de 3,5 millions de tonnes de papier, de carton et de carton pour boîtes dans le cadre des programmes de recyclage, ce qui garantit un approvisionnement stable et abondant. Ces matériaux sont principalement recueillis par le biais de systèmes de recyclage municipaux bien établis, concentrés dans les zones urbaines et périurbaines à travers le pays. Cet approvisionnement constant et géographiquement diversifié fait des produits en papier recyclé des matières premières fiables pour augmenter la production de matériaux de construction durables.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

Des investissements stratégiques dans les infrastructures de rétablissement et les capacités de traitement locales sont nécessaires pour améliorer les flux de matériaux, réduire les impacts du transport et développer les chaînes d'approvisionnement régionales pour les produits à base de papier recyclé. Le développement des capacités de traitement locales permettrait de réduire les impacts du transport, de renforcer les chaînes d'approvisionnement régionales et de créer des occasions sur le plan économique.

Construction et utilisation des produits

Les fibres de papier post-consommation ont un large éventail d'applications dans les produits de construction, comme le montre le tableau 7.

Tableau 7 : Produits de construction issus de déchets

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Fibre de papier journal	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
Fibre de carton	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Montants de charpente	Ossature des murs intérieurs, cerclage
Boîtes à boire déchiquetées	Panneaux rigides	Revêtement structural pour murs extérieurs et intérieurs, toits et plafonds
Fibres textiles	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
Toutes les fibres	Fibres en vrac	Renforcement des matériaux composites

Conformité aux codes

Chaque type de produit à base de fibres de papier recyclé nécessite des considérations particulières en matière de code. Plusieurs marques canadiennes d'isolants celluloseux ont obtenu la certification du CCMC. Tous les types de produits ont obtenu la certification internationale, ce qui indique que la conformité codes canadiens pourrait être obtenue après des essais adéquats.

5.3.2 Déchets de bois

Qualité des matériaux

Le bois post-consommation présente un potentiel intéressant, avec des qualités telles que la résistance et la durabilité qui le rendent bien adapté à la réutilisation, en particulier le bois vieilli ou le bois déjà ouvré. Cependant, sa réutilisation structurelle est limitée par des préoccupations liées aux dommages cachés, aux fixations encastrées ou à la qualité inégale. Des recherches supplémentaires, des protocoles de classement améliorés et des solutions techniques pourraient élargir les applications structurelles du bois récupéré. Le bois qui ne se prête pas à une réutilisation structurelle peut néanmoins être transformé efficacement en panneaux de fibres, en produits d'isolation ou en matériaux composites, dont le rendement est similaire à celui des produits fabriqués à partir de résidus forestiers.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

La disponibilité du bois post-consommation dépend fortement des pratiques de déconstruction des bâtiments, d'un tri efficace des matériaux et d'infrastructures de transformation dédiées. Le passage de la démolition à un démontage minutieux des bâtiments crée des occasions de récupérer des matériaux de haute qualité, de réduire la dépendance au bois vierge et de soutenir le développement économique régional [67]. Des provinces comme l'Ontario, le Québec et la Colombie-Britannique, qui abritent les plus grands volumes de déchets de bois [68], pourraient tirer profit de l'adoption de règlements sur la déconstruction, de mesures incitatives et d'investissements dans les marchés locaux de réutilisation, dont certains commencent déjà à voir le jour dans le cadre de programmes pilotes régionaux et de politiques municipales [69].

Les considérations en matière de santé et de sécurité sont essentielles dans le domaine de la déconstruction, notamment la réduction des matériaux dangereux et l'évaluation des risques afin de gérer l'exposition potentielle au plomb, à l'amiante ou à d'autres contaminants présents dans les bâtiments anciens.

La valorisation en milieu urbain est confrontée à des défis logistiques, notamment en matière de transport, de stockage et de tri. Sans installations dédiées et sans débouchés commerciaux, des matières premières intéressantes sont souvent perdues et finissent dans des aires de décharge. Des investissements ciblés sont nécessaires pour créer des systèmes qui permettent aux concepteurs et aux constructeurs d'accéder aux matériaux récupérés et de les utiliser.

Impacts environnementaux

L'utilisation de bois récupéré dans la construction offre des avantages environnementaux considérables, notamment une réduction significative des émissions au-delà du détournement des aires de décharge. Le bois récupéré réduit les émissions en évitant l'extraction et le traitement de matériaux vierges et en empêchant la production de méthane provenant de la décomposition du bois dans les aires de décharge.

Disponibilité

Les déchets de bois provenant des activités de construction, de rénovation et de démolition constituent l'un des plus importants flux de déchets solides au Canada, avec environ 2,4 millions de tonnes par année [66], [67], [70], [71]. Malgré un potentiel de réutilisation considérable, des quantités importantes de bois récupérable, notamment du bois d'œuvre durable et des composants structurels, continuent d'être jetées dans les aires de décharge, ce qui entraîne des déchets inutiles, des émissions et la perte de matériaux précieux [66].

Bien que les règlements en matière de déconstruction et les pratiques de récupération se développent lentement, une partie importante de ces déchets de bois reste inutilisée, alors que ces matériaux pourraient fournir des matières premières fiables et d'origine urbaine pour des produits de construction à faible teneur en carbone [71]. À mesure que les réseaux de récupération et la demande du marché se développent, le bois post-consommation pourrait devenir une ressource intéressante et constante.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

Les produits en bois recyclé se situent généralement dans une fourchette de prix modérée. Si les machines automatisées d'extraction des clous semblent prometteuses pour une préparation efficace du bois de récupération, tout travail manuel supplémentaire augmente les coûts. Des investissements stratégiques dans les technologies de rétablissement, les outils spécialisés, les infrastructures et les installations de traitement locales amélioreraient les flux de matériaux, réduiraient l'impact du transport et renforceraient les chaînes d'approvisionnement régionales, créant des occasions économiques locales dans le domaine de la construction à faible teneur en carbone.

Cependant, leur adoption à grande échelle reste limitée par des obstacles réglementaires, des systèmes de manutention des matériaux inefficaces et des incitations financières insuffisantes pour la déconstruction et la récupération des matériaux. Il sera essentiel de relever ces défis pour libérer tout le potentiel du bois récupéré en tant que ressource de construction évolutive et à faible teneur en carbone.

Construction et utilisation des produits

Le bois post-consommation peut être utilisé de la même manière que le bois vierge, selon sa source et son format, comme l'illustre le tableau 8.

Tableau 8 : Produits de construction à partir de déchets de bois

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Fibre de bois	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers*	Panneaux avec une isolation continue
	MDF	Moulures, armoires, menuiserie
Copeaux de bois	Panneaux de lamelles orientées	Revêtement structurel pour murs extérieurs et intérieurs, toits et plafonds
Copeaux de bois	Panneaux rigides légers*	Coffrages isolants pour béton, isolation continue (au-dessus et en dessous du niveau du sol)
	Blocs isolants structurels	Systèmes de murs isolés porteurs
Laine de bois	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue, panneaux d'atténuation acoustique

Bois de construction	Panneaux en bois massif léger abouté	Structure de murs, toits et planchers
	Bois de charpente abouté	Structure murale
	Briques en bois structurelles	Structure des murs

Le bois récupéré revêt une valeur à la fois en tant que matériau de construction et en tant que matière première pour la fabrication de panneaux de fibres, d'isolants et de produits d'ingénierie. Les quantités de matière première sont les plus importantes dans les grands centres urbains, et les fabricants de produits utilisant des déchets de bois à l'échelle internationale sont généralement de petite taille et axés sur leur région.

Conformité aux codes

Les considérations relatives aux codes pour les produits en bois récupéré varient en fonction de l'utilisation prévue du produit. Les applications structurelles du bois récupéré présentent des défis particuliers en raison des exigences en matière de vérification de la résistance des matériaux et de classification. Certaines provinces ou territoires, notamment les États américains de Washington et de l'Oregon, autorisent l'utilisation de bois récupéré s'il est reclassé ou approuvé par le responsable du bâtiment [72]. Le Code international du bâtiment (IBC) autorise également les matériaux de récupération à condition qu'ils répondent aux exigences applicables aux matériaux neufs [73]. L'élaboration de lignes directrices et de protocoles d'essai canadiens pourrait favoriser une adoption plus large du bois de récupération dans les applications structurelles.

Les produits en bois récupéré destinés à des usages non structurels sont généralement soumis à moins d'obstacles réglementaires, bénéficiant de précédents et de normes internationaux bien établis.

5.3.3 Déchets de verre

Qualité des matériaux

Après avoir été utilisé à plusieurs reprises comme contenant pour aliments et boissons, le verre doit finalement être recyclé vers des applications secondaires. Le verre recyclé conserve des propriétés physiques constantes et fiables, notamment sa solidité, sa durabilité et sa résistance à l'humidité et aux intempéries, des qualités très prisées dans les applications de construction.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Le recyclage du verre est bien établi partout au Canada. Les processus de fabrication nécessaires pour nettoyer, trier et convertir le verre recyclé en matériaux de construction sont bien compris et largement mis en œuvre.

Impacts environnementaux

L'utilisation de verre recyclé dans les produits de construction présente des avantages environnementaux en réduisant la demande en matériaux vierges. Le processus de nettoyage génère des sous-produits résiduels, dont certains nécessitent une manipulation et une élimination à l'aide de méthodes spécialisées. Les protocoles de gestion de ces sous-produits sont bien établis dans l'industrie du recyclage du verre.

Disponibilité

Les contenants en verre sont généralement recueillis dans le cadre des programmes municipaux de recyclage dans la plupart des régions canadiennes. À l'échelle nationale, environ 455 000 tonnes de verre sont recyclées chaque année, la disponibilité étant concentrée dans les zones les plus densément peuplées [74].

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

En raison de sa densité, le verre entraîne des coûts de transport élevés, ce qui fait de la proximité des centres de recyclage un facteur clé pour la viabilité de la fabrication. Établir des installations de fabrication à proximité des principaux carrefours de recyclage permettrait de réduire les émissions liées au transport et d'améliorer l'efficacité économique, créant ainsi des emplois locaux et réduisant l'impact global sur l'environnement.

Construction et utilisation des produits

Le verre recyclé broyé s'est révélé efficace dans de nombreux produits de construction, comme le montre le tableau 9.

Tableau 9 : Produits de construction à base de verre

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Verre broyé	Agrégat léger*	Isolation sous dalle, granulats de béton
	Panneaux légers rigides	Panneaux avec une isolation continue

Conformité au code

Les fabricants d'agréats et de panneaux rigides légers ont obtenu la conformité aux codes dans les administrations internationales. Cela démontre clairement que les producteurs canadiens ont le potentiel de satisfaire aux exigences des codes de construction nationaux grâce à des processus normalisés d'essai et de documentation.

5.3.4 Biochar

Le biochar est produit par la combustion de biomasse en l'absence d'oxygène, un processus appelé pyrolyse. Cette technique ancienne a connu d'importantes innovations au cours de la dernière décennie, avec des équipements allant de petites unités portables à de grandes

installations centralisées. La chaleur générée pendant la pyrolyse peut être utilisée pour des processus industriels, pour produire de l'électricité ou pour chauffer des bâtiments.

La pyrolyse convertit la majeure partie du carbone contenu dans les matières premières issues de la biomasse en une forme de carbone stable et durable appelée noir de carbone [75]. Le noir de carbone peut être utilisé dans toute une gamme de produits de construction, dont beaucoup en sont encore aux premières phases de développement. Parmi les plus prometteurs, on trouve les agrégats de béton au biochar, qui ont démontré leur rendement structurel et leur durabilité tout en compensant la plupart ou la totalité des émissions généralement associées au béton.

Qualité des matériaux

Le biochar est léger et présente une structure cellulaire ouverte, ce qui le rend idéal comme additif ou agrégat léger dans les produits de construction. Le noir de carbone ne se dégrade pas comme les matériaux cellulosiques lorsqu'il est exposé à l'humidité ou à la lumière du soleil, et sa grande résistance au feu résulte de l'élimination des éléments inflammables lors de la pyrolyse.

Considérations relatives à la culture, à la récolte et à la transformation

Les caractéristiques du biochar varient considérablement en fonction de la matière première, de la température de pyrolyse et des conditions. Les résidus forestiers et agricoles, ainsi que les boues d'épuration municipales, ont tous fait l'objet de recherches et de développements sur le biochar.

Le développement de la production de biochar offre une occasion importante en matière d'économie circulaire : les produits de construction biosourcés en fin de vie pourraient être convertis en biochar, capturant ainsi la majeure partie de leur teneur en carbone sous une forme durable plutôt que de le rejeter par combustion ou décomposition dans les aires de décharge. Cela crée un processus circulaire, transformant les déchets en matière première pour de nouveaux produits stockant le carbone.

Impacts environnementaux

La production de biochar n'émet pas de grandes quantités de CO₂, mais le type de matière première a une incidence sur d'autres émissions, telles que les particules fines et les résidus chimiques. Bien que les contrôles des émissions pour la pyrolyse se soient rapidement améliorés, ils restent non réglementés. Une réglementation appropriée sera essentielle pour atténuer les impacts environnementaux potentiels et encourager la croissance durable de l'industrie.

La production de biochar à partir de matières premières problématiques sur le plan environnemental, en particulier les boues d'épuration municipales, peut atténuer les graves problèmes d'élimination et peut être envisagée comme un moyen de convertir les déchets dangereux en matières premières précieuses pour la construction.

Disponibilité

Au Canada, le biochar est principalement disponible auprès de petits producteurs. Bien que les marchés américains et européens soient un peu plus avancés, la production de biochar reste une industrie naissante à l'échelle mondiale.

Chaînes d'approvisionnement et considérations relatives au marché

Les propriétés du biochar peuvent varier considérablement en fonction des matières premières et des conditions de pyrolyse. Des propriétés spécifiques sont requises pour des types de produits uniques et le marché devra élaborer des spécifications communes à d'autres matières premières utilisées dans la fabrication.

Construction et utilisation des produits

Le biochar est introduit dans les produits de construction en tant qu'additif à haute teneur en carbone pour le béton, les panneaux et les carreaux (voir le tableau 10), et de plus en plus de travaux de recherche portent sur d'autres applications et mettent les résultats à l'essai pour une utilisation élargie dans d'autres types de produits [76], [77], [78].

Tableau 10 : Produits de construction à base de biochar

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Biochar	Agrégat léger	Granulats pour béton et mortier
	Agrégat léger	Ciment et plaques de plâtre
	Agrégat léger	Carreaux de plafond et de mur

Conformité aux normes

Chaque type de produit fabriqué à partir de biochar devra faire l'objet d'essais spécifiques pour vérifier sa conformité aux normes. Un fabricant américain a démontré avec succès que les agrégats de béton à base de biochar peuvent satisfaire aux normes ASTM pour des résistances du béton allant jusqu'à 40 MPa [79], établissant ainsi la voie à la conformité au Canada et sur la scène internationale.

5.4 Matières premières et technologies innovantes et émergentes

De nombreuses matières premières et technologies innovantes pour des produits de construction à faible teneur en carbone et stockant le carbone font leur apparition au Canada et ailleurs dans le monde.

5.4.1 Résidus agricoles

Un large éventail de résidus agricoles canadiens présentent un potentiel en tant que matières premières pour les produits de construction, mais restent sous-étudiés et sous-développés. Là où ils sont abondants, ces résidus pourraient ouvrir de nouvelles voies pour des produits de construction innovants. Dans certains cas, ces résidus émergents peuvent même être utilisés de manière interchangeable avec des matières premières plus établies telles que la paille de céréales et le chanvre. Le tableau 11 résume ces matières premières et leurs produits potentiels.

Tableau 11 : Produits de construction à partir de résidus agricoles

Type de matière première	Catégorie de produits	Utilisation dans la construction
Tiges de tournesol	Isolant semi-rigide (béton de chanvre)	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Blocs isolants (béton de chanvre)*	Isolation des murs
	Agrégat minéralisé	Agrégat pour béton
Paille de soja	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
Paille de lin	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en rouleaux	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue

5.4.2 Minéralisation de la biomasse

Les processus de minéralisation peuvent être appliqués aux matières premières d'origine biologique afin d'éliminer ou de modifier les sucres présents dans la biomasse, ce qui réduit considérablement la tendance à la décomposition dans les milieux humides et les sols de fondation. Depuis des décennies, la minéralisation permet de stabiliser les fibres de bois utilisées dans les coffrages isolants pour béton et les panneaux isolants. Récemment, plusieurs entreprises ont commencé à commercialiser des versions minéralisées de la chènevotte. Le tableau 12 présente des exemples de produits biosourcés minéralisés. D'autres résidus

agricoles pourraient s'avérer tout aussi adaptables à la minéralisation et à l'utilisation dans ce type de produits.

Tableau 12 : Produits de construction à partir de la minéralisation de la biomasse.

Matière première	Potentiel du produit	Utilisation
Chanvre	Agrégat minéral	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
		Agrégat de béton
		Revêtements légers et dalles de plafond
Copeaux de bois	Agrégat minéral*	Coffrages isolants en béton
		Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
		Agrégat de béton
		Revêtements légers et dalles de plafond

5.4.3 Algues

Les algues sont utilisées depuis longtemps comme isolant pour les bâtiments, pour la couverture des toits et comme revêtement mural dans les régions situées en bord de mer à travers le monde. Les produits manufacturés à base d'algues suscitent un regain d'intérêt, en particulier dans les pays européens ayant un accès au littoral (voir le tableau 13).

Tableau 13 : Produits de construction à base d'algues

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Algues	Isolant en vrac	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Isolant flexible en matelas	Isolation des cavités des murs, des toits et des sols
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue
	Toiture en chaume	Couverture et revêtement mural
	Briques	Revêtement, structure murale

Les produits de construction à base d'algues disponibles dans le commerce utilisent aujourd'hui principalement des matières premières récoltées sur les plages. Des recherches sont en cours à l'échelle internationale sur la culture ciblée d'algues destinées à servir de matière première dans la construction.

Avec son vaste littoral, le Canada pourrait devenir un chef de file dans le développement et la production de produits de construction à base d'algues. Cependant, il faut veiller à développer des méthodes de récolte et de culture responsables afin de protéger les écosystèmes océaniques.

5.4.4 Microalgues

Les microalgues ont récemment démontré leur potentiel en tant qu'alternative viable au ciment, et les produits à base de microalgues comprimées ont donné des résultats prometteurs en tant que revêtement et bardage structural (voir le tableau 14). Cultivées dans des environnements intérieurs contrôlés, les microalgues peuvent fournir de grandes quantités de biomasse utile pour les produits de construction sans avoir d'impact majeur sur l'utilisation des terres.

Tableau 14 : Produits de construction à base de microalgues

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Microalgues	Ciment	Béton
Microalgues comprimées	Panneaux	Revêtements et bardages

Le ciment à base de microalgues offre l'occasion de remplacer le ciment Portland, très polluant, réduisant ainsi l'impact climatique d'un des principaux émetteurs de gaz à effet de serre.

5.4.5 Matériaux composites à base de mycélium

Il a été démontré que le mycélium permettait de produire des matériaux composites présentant de nombreuses applications potentielles dans le domaine du bâtiment, notamment pour l'isolation, la structure et les finitions (voir le tableau 15). Les matériaux composites sont produits en faisant se développer le mycélium dans une matrice de résidus agricoles, dont bon nombre des matières premières indiquées dans le présent rapport. Le chanvre, en particulier, s'est révélé très prometteur dans les matériaux composites à base de mycélium.

Tableau 15 : Produits de construction à base de mycélium

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
Mycélium et résidus agricoles	Panneaux légers	Finitions intérieures, atténuation acoustique
	Panneaux rigides légers	Panneaux avec une isolation continue

	Panneaux rigides	Charpente et revêtement structurel, âmes de portes, cloisons intérieures
--	------------------	--

Le mycélium est naturellement résistant au feu et peut supporter des cycles répétés d'humidification et de séchage sans dégradation significative. Produits en intérieur dans des conditions contrôlées, les matériaux composites à base de mycélium évitent les problèmes liés au changement dans l'utilisation des sols.

5.4.6 Carbonatation des matières premières à base de CO₂

L'industrie naissante de l'élimination du dioxyde de carbone peut fournir des matières premières pour les produits de construction. Le tableau 16 en présente quelques exemples. Parmi les plus prometteurs, on trouve les agrégats de béton produits par la recarbonatation du CO₂ capté. De nombreux matériaux composites utilisant du CO₂ capté font actuellement l'objet de recherches et de développements.

Tableau 16 : Produits de construction à partir de CO₂ capté

Type de matière première	Catégorie de produit	Utilisation dans la construction
CO ₂ capté	Gaz*	Injection dans le béton en cours de durcissement
	Agrégat	Agrégat de béton

À mesure que les volumes de CO₂ capté augmentent et que les coûts diminuent, les matières premières à base de CO₂ recarbonaté pourraient jouer un rôle important dans les produits de stockage du carbone destinés à l'industrie du bâtiment.

6. Occasions à court terme et prometteuses

6.1 Occasions proches du marché

Le Canada a une rare occasion de proposer des solutions relatives à trois priorités nationales : réduire les émissions de carbone, répondre à la demande urgente de logements et créer de nouvelles possibilités de fabrication à travers le pays. En convertissant des millions de tonnes de biomasse agricole et forestière sous-évaluée et de matières premières recyclées en produits de construction, le Canada peut renforcer son économie, soutenir les agriculteurs et les forestiers, et fournir les logements à faible teneur en carbone nécessaires pour atteindre ses objectifs climatiques et économiques.

Compte tenu de la diversité géographique du Canada et de la répartition des matières premières, la mise en œuvre efficace de ces solutions nécessite des stratégies adaptées à chaque région. Des investissements ciblés dans les infrastructures de transformation, les voies

de conformité pour les produits émergents et le développement du marché des contenus recyclés permettront de maximiser l'impact, en évitant une approche uniforme.

L'une des occasions les plus stratégiques consiste à donner la priorité aux matières premières destinées aux produits d'isolation. Les codes du bâtiment imposant des rendements thermiques plus élevés, la demande en matière d'isolation va augmenter. Investir dans des isolants biosourcés et à faible teneur en carbone permet de garantir que cette transition soutient les objectifs climatiques tout en créant des avantages économiques nationaux.

Le présent rapport a évalué une gamme de matières premières canadiennes d'origine biologique et recyclées en fonction de critères tels que la qualité des matériaux, les impacts environnementaux, le coût, la sécurité humaine, la conformité aux codes, la disponibilité et la polyvalence. Plusieurs matières premières apparaissent comme des occasions proches du marché pour un investissement immédiat, tandis que d'autres présentent un fort potentiel avec les infrastructures et le soutien du marché appropriés.

6.1.1 Paille de céréales – Un résidu agricole abondant

La paille de céréales offre un potentiel immédiat à grande échelle, la production de céréales générant des millions de tonnes par année, en particulier en Alberta, en Saskatchewan et au Manitoba. Sa disponibilité, son abordabilité et sa grande capacité de stockage du carbone en font une matière première à faible teneur en carbone très intéressante. À l'échelle internationale, la construction à base de bottes de paille et de panneaux de paille est établie, mais le marché canadien demeure largement inexploité.

En modélisant une maison de 220 m² avec des murs R-20 et une isolation de toiture R-60, une maison canadienne typique isolée avec de la paille nécessiterait environ 9,4 tonnes de paille de céréales. Pour atteindre ses objectifs nationaux, le Canada doit construire 700 000 maisons par année. En 2024, les fermes canadiennes ont produit environ 64 millions de tonnes de paille de céréales. En appliquant un facteur de réduction prudent pour tenir compte des utilisations concurrentes, il reste 32 millions de tonnes potentiellement disponibles pour la construction. L'isolation de 700 000 maisons nécessiterait 6,6 millions de tonnes de paille, soit seulement 20 % de ce volume. Ce calcul souligne une occasion intéressante : même une part modeste de la récolte de paille existante au Canada pourrait contribuer à fournir des logements adaptés au climat à grande échelle.

Investir dans des produits d'isolation et des panneaux préfabriqués à base de paille pourrait réduire rapidement le carbone intrinsèque dans la construction résidentielle, renforcer l'économie agricole et soutenir les communautés rurales. Le développement de ces produits ne nécessite aucun équipement supplémentaire ni processus spécialisé pour les agriculteurs, ce qui rend leur mise en œuvre simple et immédiatement réalisable.

Étude de cas : Savick Panels – Déploiement à grande échelle de la construction préfabriquée à base de paille

Savick Panels, une entreprise située près d'Edmonton, en Alberta, utilise de la paille de blé hachée comme isolant soufflé dans des panneaux préfabriqués pour murs et toitures au Canada. Contrairement à la construction traditionnelle en bottes de paille, l'approche de Savick consiste à transformer la paille de blé en un matériau de remplissage en vrac, densément comprimé dans des panneaux à l'aide de techniques similaires à celles utilisées pour l'isolant cellulosique. Cette méthode augmente la flexibilité et l'évolutivité en permettant d'utiliser l'isolant en paille pour isoler des cavités de toutes tailles tout en conservant les avantages d'une paille de blé de faible teneur en carbone. Les panneaux de Savick utilisent du bois de charpente conventionnel et des panneaux de fibres de bois avec une isolation continue, et peuvent être commandés dans une variété de valeurs R pour des panneaux entiers.

Soufflée à haute densité (100 kg/m³), la paille hachée atteint des valeurs R comprises entre R-3 et R-4 par pouce, offrant ainsi une alternative viable à l'isolation conventionnelle. Un approvisionnement direct auprès des fermes régionales permet de réduire les émissions liées au transport et de soutenir les économies agricoles locales. En transformant ce sous-produit en un produit à haut rendement, Savick offre des avantages en matière de stockage du carbone tout en réduisant la dépendance aux produits d'isolation synthétiques à forte teneur en carbone.

L'un des principaux objectifs de Savick est de faire progresser la certification indépendante afin de permettre une acceptation plus large des codes. L'entreprise investit dans la mise en conformité avec les codes en travaillant avec des organismes tels que le Centre canadien des matériaux de construction (CCMC) afin de certifier que ses panneaux répondent aux exigences minimales du code du bâtiment, un processus largement reconnu par les responsables du bâtiment à travers le Canada. En établissant des normes de référence en matière de rendement structurel, thermique et de résistance au feu, Savick s'efforce de lever les obstacles réglementaires pour les produits d'isolation biosourcés. Son approche offre un modèle reproductible pour les chaînes d'approvisionnement rurales et l'innovation de produits, démontrant comment les résidus agricoles canadiens peuvent soutenir des solutions de construction évolutives et à faible teneur en carbone.

6.1.2 Résidus forestiers – Accroître les activités de l'industrie du bois au Canada

Les résidus forestiers, concentrés en Colombie-Britannique, au Québec et en Ontario, présentent des occasions à fort impact en raison de leur grande disponibilité, de la maturité des chaînes d'approvisionnement et des propriétés bien connues des matériaux. Les isolants en fibre de bois, les composites de bois d'ingénierie et les composites de copeaux de bois minéralisés constituent des occasions commerciales intéressantes, avec déjà quelques précédents sur le marché canadien et de nombreux exemples au niveau international qui démontrent la faisabilité d'un plus grand nombre de types de produits.

En 2022, le Canada a généré 21 millions de tonnes de résidus forestiers. En appliquant un facteur de réduction de 50 % pour tenir compte d'autres utilisations et de leur accessibilité, il reste 10,5 millions de tonnes potentiellement disponibles pour la construction. Considérant une maison de 220 m² utilisant des panneaux isolants en fibre de bois comme isolant pour les cavités (R-20 dans les murs et R-60 dans le toit), l'isolation de 700 000 maisons nécessiterait 2,5 millions de tonnes de fibre de bois, soit environ 24 % de cet approvisionnement. Cela représente une autre occasion intéressante : les résidus forestiers déjà disponibles au Canada pourraient contribuer à la construction de logements à faibles émissions de carbone et résistants au climat, tout en créant plus de valeur à partir des ressources existantes.

Les investissements dans l'amélioration du suivi des résidus et des capacités de transformation au niveau régional pourraient améliorer l'efficacité de la collecte, soutenir la croissance de l'industrie manufacturière et contribuer à revitaliser les économies rurales, compensant ainsi le déclin de l'emploi dans le secteur forestier. Donner la priorité à ces produits permettrait également de réduire la dépendance à l'égard des importations, de renforcer la bioéconomie canadienne et de réduire le carbone intrinsèque dans la construction.

6.1.3 Bois de déconstruction – Une matière première pour usage en milieu urbain

Le bois de déconstruction offre une occasion immédiate en raison des volumes élevés générés par les flux de déchets de construction, de rénovation et de démolition, en particulier dans les centres urbains de l'Ontario, du Québec, de l'Alberta et de la Colombie-Britannique. Compte tenu de sa durabilité et de son intégrité structurelle, le bois de déconstruction peut être réutilisé dans la charpente, les finitions intérieures et les produits en bois d'ingénierie, ce qui réduit la demande en bois vierge et le volume de bois dans les aires de décharge. De plus, sa proximité avec les principaux marchés de la construction en fait une matière première immédiatement viable pour des applications urbaines et périurbaines.

Au-delà de la récupération des matériaux, la déconstruction offre des avantages climatiques importants en réduisant les émissions liées à l'extraction de nouveaux matériaux et à la décomposition dans les aires de décharge. La valorisation des déchets de bois empêche les émissions de méthane provenant des aires de décharge tout en réduisant simultanément le besoin de transformation du bois vierge, ce qui augmente les économies de carbone liées à la réutilisation.

Établir des carrefours régionaux de déconstruction, accompagnés de mesures incitatives et d'un cadre réglementaire clair, pourrait rapidement accélérer les activités de récupération des matériaux. L'augmentation des investissements dans les centres régionaux de tri et de traitement permettrait d'accroître rapidement la disponibilité, ce qui améliorerait considérablement l'adoption par le marché et la résilience économique locale.

Étude de cas : Déconstruction – Libérer la valeur du bois récupéré

La déconstruction, qui consiste à démanteler soigneusement les bâtiments afin de récupérer les matériaux, était autrefois une pratique courante. Après la Seconde Guerre mondiale, la démolition a pris le dessus, privilégiant la rapidité et les déchets au détriment de la réutilisation. Aujourd'hui, les déchets de construction et de démolition remplissent 40 % des aires de décharge canadiennes. La démolition d'une maison de 2 000 pieds carrés produit suffisamment de déchets pour remplir sept bennes à ordures, dont une grande partie est constituée de vieux bois de haute qualité, perdu dans les aires de décharge.

L'entreprise de déconstruction démantèle les bâtiments par étapes, triant, revendant ou recyclant les matériaux. L'une de leurs pratiques les plus efficaces consiste à récupérer le bois. En vertu du code du bâtiment de l'Ontario, le bois récupéré doit être reclassé avant d'être réutilisé dans des applications structurelles. Ouroboros fait appel à des inspecteurs et des ingénieurs certifiés pour reclasser et revendre les matériaux, remettant ainsi sur le marché du bois de première croissance de grande valeur. Une seule maison à ossature en bois peut fournir 14 000 pieds-planche de bois récupéré.

Pour étendre ce modèle, il faut résoudre les problèmes de stockage. Les matériaux récupérés ont besoin d'espace jusqu'à ce qu'ils trouvent une nouvelle utilisation. Des services de jumelage tels que ceux offerts par le Building Material Exchange de la Colombie-Britannique aident à jumeler les matériaux récupérés avec les constructeurs prêts à les réutiliser. Un soutien politique est également nécessaire pour accélérer cette transition. Vancouver offre un exemple remarquable : en 2011, la Ville a introduit un permis de déconstruction volontaire exigeant qu'au moins 75 % des matériaux soient détournés des aires de décharge. Les premiers projets ont considérablement dépassé 85 % de taux de récupération, avec une moyenne de 200 tonnes de matériaux récupérés par maison [69]. Des programmes ont depuis évolué, positionnant Vancouver comme un modèle de la manière dont les politiques de déconstruction peuvent réduire les déchets, soutenir les emplois verts et développer l'économie circulaire.

Des mesures incitatives telles que la délivrance accélérée des permis pourraient contribuer à développer la déconstruction à l'échelle du Canada. Le Canada ayant besoin de millions de nouveaux logements d'ici 2030, la déconstruction et la réutilisation des matériaux offrent un moyen de répondre à la demande en logements tout en réduisant les émissions, en préservant les ressources et en développant les emplois dans l'économie circulaire.

6.2 Matières premières prometteuses

Le Canada dispose d'une multitude de matières premières prometteuses qui peuvent être caractérisées de trois manières :

1. Les matières premières sont abondantes, mais le développement des produits en est à ses débuts.
2. Le développement des produits est raisonnablement mature, mais les quantités de matières premières sont faibles.

3. Le développement des produits et les quantités de matières premières sont à un stade préliminaire.

6.2.1 Paille et rafles de maïs – Une occasion émergente proche du marché

Les tiges et les rafles de maïs sont largement disponibles en Ontario, au Québec et au Manitoba, et les premiers produits développés tels que les panneaux de revêtement et d'isolation rigide démontrent un fort potentiel. Leur expansion à grande échelle nécessitera des investissements ciblés dans la logistique de récolte, la capacité de transformation et les essais de produits afin d'en valider les rendements. Grâce à l'amélioration des techniques de récolte et des réseaux de récolte secondaires, les tiges de maïs pourraient devenir une matière première viable et abordable pour les produits de construction et devraient être prioritaires pour le développement proche du marché.

Étude de cas : Hundred Year Materials – Le potentiel des résidus agricoles

Hundred Year Materials (HYM) est pionnier dans l'utilisation des résidus de maïs dans les panneaux isolants rigides à haut rendement, conçus comme une alternative biologique à la mousse rigide et à la laine minérale. Le panneau combine des fibres agricoles avec un liant à base de résine biologique et une cire biologique pour la résistance à l'eau – tous fabriqués à partir de matières premières exemptes de pétrole, et avec des additifs 100 % non toxiques. Le maïs est une matière première abondante : HYM estime pouvoir augmenter sa production d'isolants en utilisant seulement 30 % des matières premières disponibles dans un rayon de 100 km, ce qui souligne la forte offre régionale.

Grâce au financement du gouvernement canadien, HYM a fait progresser le développement de ses produits et intensifié ses recherches en matière de production. En 2025, HYM produira des échantillons adaptés à l'industrie en collaboration avec SEREX, Innofibre et InnoTech Alberta. Des tests sont en cours pour en valider les rendements selon les normes ASTM C518 (résistance thermique en régime permanent) et ASTM C165 (résistance à la compression), avec des améliorations continues visant à optimiser l'efficacité du traitement des fibres. HYM explore également d'autres gammes de produits, notamment des alternatives aux panneaux OSB fabriquées à partir de graminées vivaces.

La prochaine phase de recherche comprend un partenariat avec un laboratoire de science du bâtiment afin de mener des essais sur la résistance thermique, la transmission de vapeur, l'absorption d'eau, la résistance au vieillissement à long terme et la modélisation informatique. Des essais supplémentaires sont prévus afin de répondre aux normes ASTM C208 et CAN/ULC S706. HYM envisage désormais des projets pilotes et des partenariats qui contribueront à intégrer ces matériaux stockant le carbone dans des bâtiments réels.

6.2.2 Résidus provenant des principales cultures

Les matières premières telles que la paille de soja, les tiges de tournesol et les résidus de canola sont toutes cultivées en quantités importantes au Canada. Cependant, peu de produits de construction utilisent ces matières premières, bien qu'elles partagent de nombreuses qualités avec des résidus de cultures plus exploités. Entreprendre des recherches pour identifier les produits où ces matières premières pourraient être substituées et les nouveaux types de produits potentiels pourrait révéler des occasions qui n'ont pas encore été envisagées.

6.2.3 Chanvre – Produits établis en quête d'un approvisionnement accru

Le chanvre est principalement cultivé dans les provinces des Prairies (Alberta, Saskatchewan, Manitoba) et présente des propriétés exceptionnelles de séquestration du carbone et une polyvalence remarquable. Avec de nombreuses applications existantes, notamment le béton de chanvre, les panneaux isolants, les panneaux de fibres, les panneaux acoustiques et les biocomposites, le chanvre établit une base solide pour une adoption plus large par le marché, mais aussi par plusieurs petits fabricants canadiens. Le développement de produits de construction à base de chanvre demeure dépendante de l'augmentation du nombre d'hectares plantés, des infrastructures de transformation et de l'acceptation du marché; des investissements ciblés dans ce domaine permettront au chanvre de se positionner de manière prépondérante dans le secteur de la construction durable au Canada.

6.2.4 Graminées vivaces – Des possibilités croissantes pour les agriculteurs

Les graminées vivaces partagent de nombreuses propriétés avec la paille de céréales et, en attendant les résultats de la recherche, pourraient probablement être utilisées dans de nombreuses applications existantes à base de paille. Adaptées à la culture dans diverses régions, y compris les terres marginales, les graminées vivaces offrent des avantages importants en matière de stockage du carbone – non seulement grâce au carbone séquestré dans les matières premières récoltées, mais aussi grâce à leur système racinaire profond – ainsi que des occasions économiques pour les agriculteurs. Des programmes visant à promouvoir les graminées vivaces pourraient contribuer à renforcer la stabilité économique des agriculteurs tout en offrant des avantages climatiques à long terme.

6.2.5 Matières premières émergentes – Le Canada prêt jouer un rôle de premier plan

Il existe un nombre remarquable de matières premières et de produits connexes qui commencent tout juste à faire leur apparition. Le Canada a le potentiel de devenir un chef de file mondial dans le développement de ces matières premières et produits, contribuant ainsi à développer de nouveaux marchés intérieurs et à exporter des technologies, des connaissances et des produits à l'échelle internationale. Le biochar, les algues, les microalgues et les composites à base de mycélium sont autant de matières premières émergentes qui se sont révélées très prometteuses. Les chercheurs, les développeurs de produits et les constructeurs canadiens peuvent contribuer à accélérer le développement d'une multitude de nouvelles matières premières et de nouveaux produits.

6.2.6 Systèmes de panneaux – Accélérer l'entrée sur le marché des matériaux émergents

Les systèmes de charpente en panneaux offrent une voie prometteuse pour intégrer une large gamme de matières premières à faible teneur en carbone et permettant de stocker le carbone dans l'environnement bâti. Ces systèmes combinent plusieurs composants dans des assemblages préfabriqués de murs, de toits et de planchers, fabriqués hors site dans des conditions contrôlées. Cette approche favorise le contrôle de la qualité, réduit les déchets sur les chantiers et permet d'intégrer directement des matériaux émergents qui ne sont peut-être pas encore couramment utilisés dans la construction.

Les systèmes à panneaux offrent une plate-forme flexible pour intégrer des isolants, des revêtements et des éléments structurels d'origine biologique dans un seul ensemble. Les tests et la certification peuvent être effectués au niveau du système plutôt que sur des composants particuliers, ce qui peut réduire les obstacles pour les produits individuels qui ne relèvent pas encore d'une certification autonome.

Les partenariats entre entreprises facilitent l'adoption. En travaillant directement avec les fabricants de panneaux, les fabricants de produits peuvent augmenter leur production sans avoir à investir au préalable dans la distribution au détail ou dans la formation à grande échelle des installateurs, ce qui permet aux nouveaux produits d'arriver plus rapidement et plus efficacement sur le marché. Avec au moins 10 fabricants de panneaux déjà en activité au Canada, il existe une base industrielle établie qui pourrait soutenir l'intégration de nouveaux matériaux de faible teneur en carbone dans les systèmes de panneaux.

Ces systèmes peuvent être produits à différentes échelles, depuis les petits ateliers situés à proximité de sources de matières premières spécifiques jusqu'aux grands fabricants desservant des marchés plus vastes. En favorisant une fabrication régionale correspondant aux matières premières locales et aux niveaux de rendement souhaités, les systèmes à panneaux favorisent l'innovation évolutive, les solutions climatiques adaptées au contexte local et la création d'emplois pour soutenir l'économie locale.

Bon nombre des produits identifiés dans le présent rapport peuvent être regroupés dans des systèmes de panneaux durables. En combinant les spécifications, les coûts, la disponibilité et les réglementations, les fabricants peuvent produire une variété d'assemblages à rendement élevé et à faible teneur en carbone, ouvrant ainsi la voie à toute une gamme de solutions de construction à faible teneur en carbone.

7. Prochaines étapes

La transition vers un environnement bâti à faible teneur en carbone bénéficiera d'une action immédiate sur les matières premières disponibles et d'un investissement soutenu dans la recherche et l'innovation. Des efforts ciblés peuvent accélérer l'adoption, stimuler la croissance économique, soutenir les industries rurales et positionner le Canada comme un chef de file dans le domaine des solutions de construction durables. Le présent rapport indique les

prochaines étapes importantes pour faire progresser l'environnement bâti à faible teneur en carbone et permettant de stocker carbone :

1. **Améliorer l'évaluation des données relatives aux matières premières.** Des recherches supplémentaires sont nécessaires pour développer des données canadiennes fiables sur les volumes de matières premières, les ratios grains/sous-produits et la disponibilité régionale des matières premières. Le présent rapport applique un facteur de réduction prudent de 50 % pour tenir compte d'autres utilisations potentielles des matières premières, mais des études plus détaillées sont nécessaires pour quantifier la disponibilité réelle. Un facteur clé de ces évaluations est la régionalité : bien que des statistiques nationales et provinciales soient disponibles, les coûts de transport font qu'il est essentiel de comprendre la quantité de matières premières disponibles à des distances raisonnables des carrefours de fabrication existants ou potentiels. Des données précises et spécifiques à chaque région permettront de planifier la chaîne d'approvisionnement de manière fiable, d'orienter les investissements ciblés et d'identifier les matières premières sous-utilisées qui présentent le plus grand potentiel pour des applications de construction à faible teneur en carbone.
2. **Établir un système d'évaluation du stockage temporaire du carbone.** La confusion qui règne sur le marché au sujet du stockage durable du carbone provient d'une mauvaise interprétation de l'approche -1/+1 de la comptabilisation du carbone biogénique dans l'ACV comme une évaluation de l'impact climatique. Le Canada peut mener des recherches afin d'établir un système d'évaluation cohérent pour le carbone biogénique, basé sur des facteurs propres aux matières premières, la durée de vie prévue dans l'environnement bâti et des scénarios réalistes de fin de vie. Un système d'évaluation approuvé à l'échelle nationale et soutenu par la science climatique permettra aux fabricants de faire valoir leurs produits en toute confiance et au pays d'inclure ce type de stockage de carbone dans ses inventaires nationaux.
3. **Faire progresser la recherche et les essais sur les matières premières et les produits.** Établir des mécanismes permettant aux chercheurs et aux développeurs de produits de mettre à l'essai les nouveaux produits et les matières premières innovantes à la fois en laboratoire et dans des bâtiments de démonstration. Cela peut accélérer le développement, la commercialisation et l'approbation réglementaire. Le perfectionnement des processus de fabrication avant leur mise en œuvre garantira la qualité, la rentabilité et le degré de maturité du marché.
4. **Cibler les investissements fédéraux pour accélérer la mise en marché.** Des investissements fédéraux ciblés peuvent jouer un rôle essentiel dans le développement des produits stockant du carbone, depuis leur conception jusqu'à leur adoption à grande échelle. Les domaines prioritaires sont les suivants : soutenir la recherche et le développement afin de déterminer la taille, l'orientation et la teneur en humidité optimales des fibres pour améliorer le rendement thermique; élaborer des guides techniques du CCMC qui définissent clairement les modalités d'acceptation des codes pour les principales catégories de produits; et élaborer des protocoles solides de

quantification du carbone afin d'intégrer les matériaux biogéniques dans le système fédéral de crédits compensatoires du Canada.

5. **Moderniser les codes du bâtiment.** Soutenir l'élaboration de procédures simplifiées basées sur le rendement pour les nouveaux produits peut permettre aux produits biosourcés et recyclés à faible teneur en carbone d'être compétitifs, tout en garantissant la sécurité et le rendement. Normaliser les protocoles d'obtention de permis pour les projets utilisant des produits innovants qui n'ont pas encore reçu la certification du CCMC.
6. **Soutien aux fabricants de produits à faible teneur en carbone.** Cibler les investissements et le soutien au développement commercial pour les jeunes entreprises et les fabricants existants qui se lancent dans les produits à faible teneur en carbone et stockant le carbone afin d'accélérer leur adoption, de renforcer la fabrication nationale et de garantir que ces solutions soient compétitives dans les secteurs de la construction et du logement au Canada.
7. **Recherche sur la salubrité des produits et exigences en matière de financement.** Entreprendre des recherches afin de déterminer les exigences appropriées en matière de salubrité des matériaux pour le financement lié à la recherche et au développement de produits. Concentrer le financement de la recherche et de la fabrication sur les produits qui n'intègrent pas de composants à forte teneur en carbone et/ou toxiques.
8. **Démontrer l'impact à l'aide d'études de cas sur le logement au Canada.** Le nouveau Catalogue canadien de conception de logements [80] offre une occasion de sélectionner des conceptions représentant de bâtiments de faible hauteur et de démontrer les substitutions de matériaux à l'aide des matières premières indiquées dans le présent rapport. Cela permettrait de quantifier les impacts du carbone intrinsèque et du stockage, et de montrer comment les matériaux d'origine nationale peuvent contribuer à la réalisation des objectifs du Canada en matière de logement et de climat.

8. Le passage de solutions sur mesure à des solutions évolutives

Depuis des décennies, les produits biosourcés sont utilisés par des constructeurs spécialisés dans des projets à petite échelle, démontrant ainsi leur durabilité, leur rendement et leur viabilité. Si ces efforts ont validé leur potentiel, leur adoption à grande échelle reste limitée. Le passage d'innovations ponctuelles à des applications plus larges offre au Canada une occasion unique de réduire le carbone intrinsèque dans la construction tout en soutenant une économie florissante et à faible teneur en carbone dans le secteur du bâtiment.

L'intégration des matières premières canadiennes dans la fabrication, la préfabrication et les cadres réglementaires permettra de faire passer la construction à faible teneur en carbone du stade expérimental à celui d'une utilisation généralisée. Cette transition permet non seulement de progresser vers les objectifs climatiques, mais aussi de renforcer l'économie canadienne, en

créant de nouvelles sources de revenus pour les agriculteurs, en générant des emplois dans les secteurs de la sylviculture et du traitement des déchets, et en développant la fabrication sur le marché intérieur. L'agriculture régénérative joue un rôle clé dans cette transition, non seulement en bénéficiant à l'environnement grâce à la séquestration du carbone et à la remise en état des sols, mais aussi en favorisant des communautés plus saines, des systèmes alimentaires résilients et une stabilité économique à long terme pour les agriculteurs. Avec ses vastes ressources agricoles et forestières, le Canada est très bien placé pour jouer un rôle de premier plan dans le développement d'une économie liée aux produits qui soit robuste et régénérative.

En investissant stratégiquement dans les infrastructures de production de matières premières, en modernisant les codes du bâtiment et en favorisant l'acceptation du marché, le Canada a la possibilité de développer des innovations biosourcées et d'accélérer la transition vers des pratiques de construction durable. En agissant promptement au niveau des matières premières telles que la paille, les résidus forestiers et le bois récupéré il serait possible de réduire rapidement les émissions, créer des occasions de développement économique en milieu rural et contribuer à positionner le Canada comme un chef de file mondial dans le domaine des pratiques de construction durable.

L'urgence de la crise climatique exige une action immédiate, en utilisant les produits et les systèmes dont nous disposons déjà. Le développement des produits à base de plantes et la construction industrialisée offrent une rare occasion d'aligner les progrès environnementaux sur la résilience économique, en soutenant les agriculteurs, les fabricants et les économies régionales tout en fournissant des logements de haute qualité et à faible teneur en carbone. Plus qu'une simple stratégie climatique, il s'agit d'une chance unique de remodeler l'environnement bâti avec des produits innovants, durables et fondamentalement meilleurs pour les personnes et la planète. Investir dans ces matières premières et ces produits favorise non seulement la réduction des émissions, mais aussi l'innovation, l'équité, l'inclusion et la réconciliation, renforçant ainsi les avantages plus larges que procure une chaîne d'approvisionnement à faible teneur en carbone au Canada.

Références

- [1] *La Stratégie canadienne pour les bâtiments verts : Transformer le secteur canadien du bâtiment pour un avenir carboneutre et résilient*. Ottawa : Ressources naturelles Canada, 2024.
- [2] RNCan, Gouvernement du Canada, « Calculateur des équivalences des émissions de gaz à effet de serre ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://oee.rncan.gc.ca/organisme/statistiques/bnce/apd/calculateur/calculateur-ges.cfm>
- [3] *Loi canadienne sur la responsabilité en matière de carboneutralité*.
- [4] Magwood, C., Ahmed, J., Bowden, E., Racusin, J., « Réaliser de véritables maisons carboneutres : Analyse du scénario de carbone intrinsèque des niveaux supérieurs de performance du Code national du bâtiment – Canada 2020 », Ressources naturelles Canada, 2021. Consulté le 20 février 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.buildersforclimateaction.org/uploads/1/5/9/3/15931000/bfca-enercan-report-web_08_22.pdf
- [5] Programme des Nations Unies pour l'environnement, *Les matériaux de construction et le climat : construire un nouvel avenir*. Nations Unies, 2023.

- [6] A HEALTHY ENVIRONMENT AND A HEALTHY ECONOMY “Canada’s strengthened climate plan to create jobs and support people, communities and the planet.” doi: 10.1163/9789004322714_cclc_2020-0173-0861.
- [7] Secrétariat du Conseil du Trésor du Canada, « Stratégie pour un gouvernement vert : une directive du gouvernement du Canada », gouvernement du Canada. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/secretariat-conseil-tresor/services/innovation/ecologiser-gouvernement/strategie.html>
- [8] Netherlands Organisation for Applied Scientific Research, « Phyllis2 - Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar » Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://phyllis.nl/>
- [9] ISO, *ISO 21930:2017*, 2017. Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/standard/61694.html>
- [10] ISO, *ISO 14067:2018*, 2018. Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.iso.org/standard/71206.html>
- [11] K. Chilton, J. Arehart et H. Hinkle, « Evaluating Fast-Growing Fibers for Building Decarbonization with Dynamic LCA », *Sustainability*, vol. 17, n° 2, art. n° 2, janvier 2025, doi : 10.3390/su17020401.
- [12] « Informed Product Guidance - Informed ». Consulté le 23 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://informed.habitablefuture.org/product-guidance>
- [13] « MDF Recovery », MDF Recovery. Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.mdfrecovery.co.uk/>
- [14] M. J. Spear, A. Dimitriou, S. F. Curling et G. A. Ormondroyd, « Developments in the Recycling of Wood and Wood Fibre in the UK: A Review », *Fibers*, vol. 13, n° 2, art. n° 2, février 2025, doi : 10.3390/fib13020023.
- [15] R. M. Sebastian, M. M. Billal et A. Kumar, « The development of a framework to assess waste and biomass availability: A case study for Canada », *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 215, p. 108170, avril 2025, doi : 10.1016/j.resconrec.2025.108170.
- [16] E. Yablonovitch et H. W. Deckman, « Scalable, economical, and stable sequestration of agricultural fixed carbon », *Proc. Natl. Acad. Sci.*, vol. 120, n° 16, p. e2217695120, avril 2023, doi : 10.1073/pnas.2217695120.
- [17] « Critical Ground - Why Soil is Essential to Canada’s Economic, Environmental, Human, and Social Health ».
- [18] « Regenerative Agriculture in Canada: Considerations for Standardization ».
- [19] A. Oo, N. Muntasir, K. Poon, A. Weersink et M. Thimmanagari, « Development of an Agricultural Biomaterial Industry in Ontario ».
- [20] RNCAN, « Inventaire et changement dans l'utilisation des terres ». Consulté le 20 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/carbone-forestier/inventaire-changements-dans-l-utilisation-terres?_gl=1*12d75oo*_ga*MTg2OTcwMTE4My4xNzQyOTMyMzM3*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NjEwODQ4NzlkibzExNiRnMCR0MTc2MTA4NDg3MiRqNjAkBDaDA.
- [21] « PDF ». Consulté le 12 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/12/Biohub-IEA-Bioenergy-TÂCHE-43-Final-Report.pdf>
- [22] SCHL, « Le point en recherche – La consommation d'énergie dans les maisons en bottes de paille », 2002. Consulté le 20 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/schl-cmhc/NH18-22-102-115-fra.pdf
- [23] CMHC, « Le point en recherche – Étude sur la teneur en eau des maisons en bottes de paille », 2006. Consulté le 20 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://publications.gc.ca/collections/Collection/NH18-22-100-103F.pdf>
- [24] SCHL, « Étude hygrométrique des bottes de paille ». Consulté le 20 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2014/schl-cmhc/NH18-22-96-206-fra.pdf
- [25] J. Straube, « Moisture Properties of Plaster and Stucco for Strawbale Buildings ».
- [26] R. Lal, « World crop residues production and implications of its use as a biofuel », *Environ. Int.*, vol. 31, n° 4, pp. 575-584, mai 2005, doi : 10.1016/j.envint.2004.09.005.
- [27] Agriculture et Agroalimentaire Canada, « Canada : Perspectives des principales grandes cultures »,

- Secteur du développement et analyse, février 2025. Consulté le 6 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://agriculture.canada.ca/sites/default/files/documents/2025-10/Canada%20perspectives%20des%20principales%20grandes%20cultures_202510.pdf
- [28] APPENDIX S STRAWBALE CONSTRUCTION - 2018 INTERNATIONAL RESIDENTIAL CODE (IRC), 2018. Consulté le 20 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2018P7/appendix-s-strawbale-construction>
- [29] Z. Ruan, X. Wang, Y. Liu et W. Liao, « Chapitre 3 - Corn », dans *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*, Z. Pan, R. Zhang et S. Zicari, éd., Academic Press, 2019, pp. 59-72. doi: 10.1016/B978-0-12-814138-0.00003-4.
- [30] Randy Duffy et Lynn Marchand, « Development of a Business Case for a Cornstalks to Bioprocessing Venture », Université de Guelph, juillet 2013. Consulté le 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://ofa.on.ca/wp-content/uploads/2017/11/CornstalkReport-FINAL1.pdf>
- [31] J. Y. Choi, J. Nam, B. Y. Yun, Y. U. Kim et S. Kim, « Utilization of corn cob, an essential agricultural residue difficult to disposal: Composite board manufactured improved thermal performance using microencapsulated PCM », *Ind. Crops Prod.*, vol. 183, p. 114931, septembre 2022, doi: 10.1016/j.indcrop.2022.114931.
- [32] Norm Richardson, « Norm Richardson, OBPC Member », 11 février 2025.
- [33] James Fisher, Norm Richardson et Bev Schenk, « Ontario Biomass Producers Co-operative Inc. », 3 décembre 2025.
- [34] « Corn Stover and Silage - Agriculture | Province of Manitoba », Province of Manitoba - Agriculture. Consulté le 7 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.manitoba.ca/agriculture/>
- [35] Mahendra Thimmanagari, « Mahendra Thimmanagari, OMAFA », 3 décembre 2024.
- [36] « La culture du chanvre industriel en Ontario | ontario.ca ». Consulté le 6 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.ontario.ca/fr/page/la-culture-du-chanvre-industriel-en-ontario>
- [37] Santé Canada, « Foire aux questions sur le chanvre industriel ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/drogues-medicaments/cannabis/production-vente-chanvre/au-sujet-chanvre-industrie/foire-questions.html>
- [38] Canadian Hemp Trade Alliance, « CHTA Hemp Production Guide », Canadian Hemp Trade Alliance. Consulté le 6 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://s3.amazonaws.com/ClubExpressClubFiles/950211/documents/CHTA_Hemp_Production_Guide_final_1052466307.pdf?AWSAccessKeyId=AKIA6MYUE6DNNJ6ROIH3&Expires=1741278610&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCHTA_Hemp_Production_Guide_final.pdf&Signature=kGzpSsme1U8VaixpYZkaczrR50o%3D
- [39] C. Magwood, *Making better buildings: a comparative guide to sustainable construction for homeowners and contractors*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers, 2014.
- [40] C. Magee, « Canadian hempcrete: the development of the hemp construction industry », Innovation News Network. Consulté le 8 janvier 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.innovationnewsnetwork.com/canadian-hempcrete-the-development-of-the-hemp-construction-industry/5504/>
- [41] Gouvernement du Canada, « Gazette du Canada, partie 1, volume 158, numéro 16 : Proclamation visant l'Office canadien de promotion et de recherche pour le chanvre industriel ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://canadagazette.gc.ca/rp-pr/p1/2024/2024-04-20/html/reg2-fra.html>
- [42] Mihai Lupescu et Alexander Robinson, « Update on Industrial Hemp Production Trade and Regulation », Département de l'agriculture des États-Unis, Doreign Agricultural Service, Canada, août 2023. Consulté le 6 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Update%20on%20Industrial%20Hemp%20Production%20Trade%20and%20Regulation_Ottawa_Canada_CA_2023-0034.pdf
- [43] Statistique Canada, Gouvernement du Canada, « Production végétale : outil de visualisation ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/71-607-x2020025-fra.htm>
- [44] Gabriel Gauthier, « Gabriel Gauthier, ArtCan », 8 janvier 2025.
- [45] « APPENDIX BL HEMP LIME HEMPCRETE CONSTRUCTION - 2024 INTERNATIONAL

- RESIDENTIAL CODE (IRC) ». Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2024P1/appendix-bl-hemp-lime-hempcrete-construction>
- [46] CNRC, « [CCMC 14272-R] Évaluation de la conformité aux codes canadiens [CCMC 14272-R] ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://cnrc.canada.ca/fr/certifications-evaluations-normes/centre-canadien-materiaux-construction/publications-ccmc/document.html?id=14272-R&type=cert>
- [47] « Specialty Croppportunities - Switchgrass ». Consulté le 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.omafra.gov.on.ca/CropOp/en/indus_misc/biomass/sg.html
- [48] K Withers, B Deen, J DeBruyn, U Eggimann, « MISCANTHUS Agronomy 2016 ». Ontario Biomass Producers Co-Operative, 2016. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://onforagenetwork.ca/wp-content/uploads/2021/04/MISCANTHUS-Agronomy-2016-FINAL.pdf>
- [49] « Assessment of Business Case for Purpose Grown Biomass in Ontario », Western Sarnia-Lambton Research Park, Ontario Federation of Agriculture, mars 2012. Consulté le 19 décembre 2024. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://ofa.on.ca/wp-content/uploads/2017/11/Assessment-of-Business-Case-for-Purpose-Grown-Biomass-in-Ontario-March-2012.pdf>
- [50] M. Jarecki *et al.*, « The Potential of Switchgrass and Miscanthus to Enhance Soil Organic Carbon Sequestration—Predicted by DayCent Model », *Land*, vol. 9, n° 12, art. n° 12, décembre 2020, doi : 10.3390/land9120509.
- [51] M. Carter, « Fact sheet: Switchgrass & Miscanthus as Biomass Crops for Ontario, Canada – Ontario Forage Network ». Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://onforagenetwork.ca/2022/08/25/fact-sheet-switchgrass-miscanthus-as-biomass-crops-for-ontario-canada/>
- [52] L. Rajeshkumar, P. S. Kumar, P. Boonyasopon, S. M. Rangappa et S. Siengchin, « Flame retardance behaviour and degradation of plant-based natural fiber composites – A comprehensive review », *Constr. Build. Mater.*, vol. 432, p. 136552, juin 2024, doi : 10.1016/j.conbuildmat.2024.136552.
- [53] Priyabrata Pradhan, Maryam Akbari, Roshni Mary Sebastian, Abhishek Dwivedi et Amit Kumar, « Development of Techno-economic Model for Assessment of Bio-hubs in Canada », Department of Mechanical Engineering, IEA Bioenergy Technology Collaboration Programme, Alberta, Edmonton, Canada, mai 2022. Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/12/Biohub-IEA-Bioenergy-TÂCHE-43-Final-Report.pdf>
- [54] MSL, « Fiche technique SONOclimat ECO4 ». 2020. Consulté le 23 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.mslfibre.com/Upload/Documentation/T12670-106_SONOclimat_ECO4_En_08-14638133681643859712.pdf
- [55] Building Products of Canada, « TECHNICAL DATA SHEET INDUSTRIAL WOOD FIBRE PANELS » (Fiche technique des panneaux industriels en fibres de bois). 2021. Consulté le 23 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://bpsmartcore.com/wp-content/uploads/2023/04/tds-biv0348-17-05-2021.pdf>
- [56] Département de l'Agriculture des États-Unis - Forest Service, *Wood Handbook Wood as an Engineering Material*. Consulté le 18 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/fplgtr/fpl_gtr190.pdf
- [57] S. Krigstin, C. Helmeste, S. Wetzel et S. Volpé, « Managing self-heating & quality changes in forest residue wood waste piles », *Biomass Bioenergy*, vol. 141, p. 105659, octobre 2020, doi : 10.1016/j.biombioe.2020.105659.
- [58] Susan M Wood et David B Layzell, « A Canadian Biomass Inventory: Feedstocks for a Bio-based Economy », juin 2003.
- [59] D. Yemshanov, D. W. McKenney, S. Fraleigh, B. McConkey, T. Huffman et S. Smith, « Cost estimates of post harvest forest biomass supply for Canada », *Biomass Bioenergy*, vol. 69, pp. 80–94, octobre 2014, doi : 10.1016/j.biombioe.2014.07.002.
- [60] « L'état des forêts au Canada – RAPPORT ANNUEL 2023 ».
- [61] « Un cadre de la bioéconomie forestière pour le Canada », Conseil canadien des ministres des forêts, 2017. Consulté le 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.ccmf.org/wp-content/uploads/2020/09/10a-Documents-Forest-Bioeconomy-Framework-for-Canada-F.pdf>
- [62] J. Dickman, « BULLETIN D'INFORMATION : BIOÉNERGIE FORESTIÈRE ». Institut forestier du Canada, novembre 2022.

- [63] RNCAN, SCF et CCFB, « Centre canadien sur la fibre de bois. Les principales caractéristiques de la fibre de bois canadienne ».
- [64] RNCAN, « Tirer davantage de valeur des arbres ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/forets-foresterie/industrie-commerce-forestiere/tirer-davantage-valeur-arbres?_gl=1*1dx7k96*_ga*MTg2OTcwMTE4My4xNzQyOTMyMzM3*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NjExNDg3NDMkbzExNyRnMSR0MTc2MTE0ODg0NyRqNTkbbDAkaDA.
- [65] RNCAN, « Aperçu de l'industrie forestière du Canada ». Consulté le 12 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/forets-foresterie/industrie-commerce-forestiere/aperçu-lindustrie-forestiere-canada?_gl=1*buvyq*_ga*MTg2OTcwMTE4My4xNzQyOTMyMzM3*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NjExNDg3NDMkbzExNyRnMSR0MTc2MTE0ODkzMyRqNjAkbDAkaDA.
- [66] Environnement et Changement climatique Canada, « Rapport national sur la caractérisation des déchets : la composition des déchets solides municipaux résiduels au Canada », 2020. Consulté le 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2020/eccc/en14/En14-405-2020-fra.pdf
- [67] « Guide for Identifying, Evaluating and Selecting Policies for Influencing Construction, Renovation and Demolition Waste Management » (Guide pour identifier, évaluer et sélectionner les politiques visant à influencer la gestion des déchets de construction, de rénovation et de démolition).
- [68] Schorr, Diane et Boivin, Gabrielle, « Overview of Canadian CRD wood waste recycling and valorization ecosystem », 2023. Consulté le 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://library.fpinnovations.ca/viewer?file=%2Fmedia%2FWP%2FInfoNote2023N15E.pdf#page=1>
- [69] Kinsey Elliot, Erica Locatelli et Carl Xu, « The Business Case for Deconstruction », BCIT, juillet 2020. Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://vancouvereconomic.com/wp-content/uploads/2020/07/387304d5-demolition_metrovancouver_industrywhitepaper_web_july2020.pdf?utm
- [70] Guy Perry and Associates et Kelleher Environmental, « Characterization and management of construction, renovation and demolition waste in Canada foundation document », Environnement Canada, Ottawa, mars 2015. Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2025/eccc/En14-532-2015-eng.pdf (en anglais seulement)
- [71] « Possibilités de circularité du bois dans la construction, la rénovation et la démolition au Canada », Environnement et Changement climatique Canada, 2024. Consulté le 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2024/eccc/en4/En4-737-2024-fra.pdf
- [72] « Salvaged Structural Wood in Building Codes », Build Reuse. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.allanswered.com/kb/build-reuse/doc/ommlgm/salvaged-structural-wood-in-building-codes/>
- [73] « Chapter 1 Scope And Administration - International Residential Code (IRC) ». Consulté le 22 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://codes.iccsafe.org/content/IRC2018P7/chapter-1-scope-and-administration>
- [74] ECCC, « Réacheminement et élimination des déchets solides ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/solid-waste/2024-nov/reacheminement-elimination-dechets-solides-fr.pdf>
- [75] « Pyrolysis | Chemical Reaction & Energy Conversion | Britannica ». Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.britannica.com/science/pyrolysis>
- [76] K. Draper, « Biochar-based Building Materials ».
- [77] J. Ahmad, F. Patuzzi, U. Rashid, M. Shahabz, C. Ngamcharussrivichai et M. Baratieri, « Exploring untapped effect of process conditions on biochar characteristics and applications », *Environ. Technol. Innov.*, vol. 21, p. 101310, février 2021, doi : 10.1016/j.eti.2020.101310.
- [78] A. I. Osman *et al.*, « Reducing the carbon footprint of buildings using biochar-based bricks and insulating materials: a review », *Environ. Chem. Lett.*, vol. 22, n° 1, pp. 71–104, février 2024, doi : 10.1007/s10311-023-01662-7.
- [79] Solid Carbon, « Solid Carbon White Paper ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse :

https://static1.squarespace.com/static/65a968219fe1fc5e2610b8f4/t/66c4ce4f679ac76ac5067181/1724173907352/Solid_Carbon_SellSheet-8%3A20%3A24.pdf

- [80] I. Canada, « Logements, Infrastructures et Collectivités Canada – Catalogue de conception de logements ». Consulté le 24 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://logement-infrastructure.canada.ca/housing-logement/design-catalogue-conception/index-fra.html>

Références (tableaux)

- [1] Agriculture et Agroalimentaire Canada, « Canada : Perspectives des principales grandes cultures », Secteur du développement et analyse, février 2025. Consulté le 6 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://agriculture.canada.ca/sites/default/files/documents/2025-10/Canada%20perspectives%20des%20principales%20grandes%20cultures_202510.pdf
- [2] Environnement et Changement climatique Canada, « Rapport national sur la caractérisation des déchets : la composition des déchets solides municipaux résiduels au Canada », 2020. Consulté le 11 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://publications.gc.ca/collections/collection_2020/eccc/en14/En14-405-2020-fra.pdf
- [3] Statistique Canada. Gouvernement du Canada, « Production végétale : outil de visualisation ». Consulté le 17 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-607-x/71-607-x2020025-fra.htm>
- [4] Priyabrata Pradhan, Maryam Akbari, Roshni Mary Sebastian, Abhishek Dwivedi, et Amit Kumar, « Development of Techno-economic Model for Assessment of Bio-hubs in Canada », Département de génie mécanique (Université de l'Alberta), IEA Bioenergy Technology Collaboration Programme, Alberta, Edmonton, Canada, Mai 2022. Consulté le 17 mars 2025. [En ligne] Disponible à l'adresse : <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2022/12/Biohub-IEA-Bioenergy-Task-43-Final-Report.pdf>
- [5] Statistique Canada. Gouvernement du Canada, « Estimation de la superficie, du rendement, de la production, du prix moyen à la ferme et de la valeur totale à la ferme des principales grandes cultures, en unités métriques et impériales ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible : <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=3210035901>
- [6] RNCAN, « Récolte forestière ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://cfs.cloud.nrcan.gc.ca/profilstats/amenagement/recolte.html>
- [7] Gabriel Gauthier, « Gabriel Gauthier, ArtCan », 8 janvier 2025.
- [8] RNCAN, « Inventaire et changements dans l'utilisation des terres ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : https://ressources-naturelles.canada.ca/changements-climatiques/carbone-forestier/inventaire-changements-dans-l-utilisation-terres?_gl=1*12y7rrd*_ga*MTg2OTcwMTE4My4xNzQyOTMyMzM3*_ga_C2N57Y7DX5*czE3NjExNTM4NjUkbzExOCRnMCR0MTc2MTE1Mzg2NSRqNjAkBDaKaDA
- [9] ECCC, « Réacheminement et élimination des déchets solides ». Consulté le 25 mars 2025. [En ligne]. Disponible à l'adresse : <https://www.canada.ca/content/dam/eccc/documents/pdf/cesindicators/solid-waste/2024-nov/reacheminement-elimination-dechets-solides-fr.pdf>
- [10] R. Lal, « World crop residues production and implications of its use as a biofuel », Environment International, vol. 31, n° 4, pp. 575-584, mai 2005, doi : 10.1016/j.envint.2004.09.005.