



Bulletin de veille scientifique,
technique et stratégique

Préparé pour :

Régie
du bâtiment
Québec  
 



Janvier 2025

Sujet : Économie circulaire

Le recyclage des matériaux de construction

Préparé par : Richard Gagnon

Révisé par : Myriam Drouin et Patrick Gascon

Avertissement

Le présent document doit être considéré comme informatif. Même si toutes les précautions ont été prises pour que les informations encapsulées ne soient ni erronées ni trompeuses au moment de la publication, la Régie du bâtiment du Québec (RBQ) ne peut garantir leur exactitude ou exhaustivité.

Le document renvoie parfois vers des sites Internet ou données externes sur lesquels la RBQ n'a aucun contrôle et pour lesquels elle décline toute responsabilité. Comme le lecteur est entièrement responsable de l'utilisation du document, de son interprétation et des décisions découlant de la lecture de ce bulletin, elle ne peut en aucun cas être tenue responsable d'éventuels dommages résultant de l'application des idées et principes énoncés.

Résumé

Le recyclage des matériaux de construction

Ce bulletin permet de dresser un portrait de la situation de la réutilisation et du recyclage des déchets issus des secteurs de la construction, rénovation et démolition (CRD) au Québec et dans le monde. Sachant que le carbone lié à l'énergie nécessaire à la production des matériaux et à leurs installations représente 11 % des gaz à effet de serres (GES) mondiaux, il s'agit d'un sujet d'actualité sur lequel de nombreux intervenants ont travaillé. Malgré ces efforts, le constat dominant qui se dégage est une tendance au détournement des déchets s'adressant pourtant aux centres de tri de résidus de construction, de rénovation et de démolition (CRD), vers les sites d'enfouissement prévus. Au Québec, sur les 1,84 M tonnes de déchets CRD qui entrent au centre de tri, il est estimé que seulement 7,4 % seront recyclés. Quant à la proportion de réutilisation, elle est inconnue au Québec. La situation n'est pas beaucoup plus resplendissante dans le monde. Avec un indice de circularité de 8 %, les Pays-Bas semblent être le pays qui se situe en tête de course.

Plusieurs débouchés existent pourtant pour la réutilisation des matériaux. Pour atteindre celle-ci, il est important que la déconstruction se réalise au détriment de la démolition. Des processus de déconstruction ont été présentés (par exemple, l'audit de pré-démolition et l'installation de stations de recyclage) et la bonne planification se situe au cœur du succès. Il est également reconnu qu'une expertise en la matière s'avère nécessaire et que les incitatifs financiers font partie des solutions pour initier la transition. La voie réglementaire guide aussi l'industrie dans le changement de ses pratiques (par exemple, l'exigence de contenu recyclé dans les nouvelles constructions, l'obligation d'atteindre un taux de recyclage lors de la déconstruction et celle de réaliser un audit de pré-démolition). Une autre solution vise la conception pour la déconstruction. Dès le départ, si les bâtiments sont conçus pour être déconstruits, il sera plus facile de récupérer les matériaux à l'avenir. Puisque les bâtiments déjà en place n'ont pas été conçus de cette manière et puisque les matériaux utilisés autrefois comme aujourd'hui ne sont pas toujours les mêmes, le stock de matériaux disponibles pour la réutilisation semble limité selon certains auteurs. Afin qu'un changement important s'opère, il est donc nécessaire que les solutions soient holistiques, qu'elles soient portées par des leaders et qu'une clientèle avant-gardiste se constitue de manière à stimuler ce marché.

Au Québec, ce sont les agrégats qui représentent la plus grosse utilisation en termes de matières recyclées (\cong 50 % ou 129 000 tonnes), suivis du bois (environ \cong 27 % et 70 000 tonnes) et enfin des métaux (41 000 tonnes). Le béton et la brique, qui constituent la source des agrégats, sont pour l'instant très peu réutilisés (mis à part un faible pourcentage de briques). Les agrégats peuvent entrer dans la fabrication du nouveau béton ou servir de remblais. On parle alors de *downcycling*, soit d'un déchet recyclé qui forme un nouveau produit de moindre qualité. Évidemment, ce scénario n'est pas éternel et circulaire. Le réemploi des résidus de bois reste difficile, notamment en raison de la qualité et quantité parfois trop faibles des intrants reçus par les entreprises. Le recours à la déconstruction de certains bâtiments permettrait d'offrir une plus grande possibilité de réemplois. Le recyclage du bois, quant à lui, se développe bien au Québec avec des débouchés comme des panneaux de particules ou la transformation du bois en matériaux isolants. Le développement du bois d'ingénierie, lorsqu'il est installé avec des connecteurs, se réemploie facilement en l'utilisant sur une nouvelle structure. Enfin, bien que cela ne concerne pas la

réutilisation et le recyclage des matériaux, il sera primordial d'améliorer la rénovation et l'entretien des bâtiments existants, de façon à éliminer le problème à sa source.

Table des matières

Résumé	3
Liste des figures et tableaux.....	6
Introduction.....	9
Survol de la littérature grise	11
Portrait de la situation.....	11
Statistiques sur la quantité de déchets générés au Québec	11
Quels sont les matériaux réemployés et recyclés ?.....	13
Un site qui collige l’information.....	17
Qu’est-ce qui est recyclé au Québec ?	19
Le réemploi au Québec	19
Projets à succès.....	21
Stratégies.....	25
Quelques plans d’action sommaires.....	26
La planification et la gérance de chantier	27
Audits de prédémolition.....	29
Concevoir pour désassembler (CpD) et concevoir pour adapter (CpA)	30
La construction préfabriquée	31
Installation de la station de recyclage	33
Initiatives publiques.....	35
Avancées technologiques.....	40
Building as a material banks.....	41
Survol de la littérature scientifique.....	47
Pourquoi est-il difficile de faire mieux ?	47
Quelles sont les stratégies proposées par les chercheurs ?	50
Analyse des stocks de matériaux.....	50
Planifier la déconstruction pour mieux réutiliser les matériaux.....	53
Initier la transition vers une économie circulaire	55
Matériaux innovants issus du recyclage	57
Conclusion	59
Thèmes en suivi.....	60
Construction en bois.....	60
Défis énergie en immobilier (DÉI)	61
Références.....	62

Liste des figures et tableaux

Figure 1 : Centre de tri du Service 3R Valorisation à Montréal-Est (photo Dominick Gravel, Source : La Presse)	10
Figure 2 : Évolution des résidus provenant du secteur de la construction, rénovation et démolition en tonnes (Source : Données provenant de Recyc-Québec, figure adaptée par Léveillé, 2024)	11
Figure 3 : Flux des déchets issus de la CRD (Source données : Recyc-Québec, 2021, Source de la figure : CIRCERB)	12
Figure 4 : Quantité de matières recyclées (en tonnes) provenant du secteur CRD par les centres de tri au Québec en 2021 (Données sources : Recyc-Québec 2021, adapté par le CIRCERB).....	13
Figure 5 : Hiérarchie de la gestion des déchets (Madeline COPROS, 2018)	14
Figure 6 : Destination du bois (en tonnes) issu des déchets de CRD au Québec en 2021, (Recyc-Québec, 2021).....	15
Figure 7 : Destination des agrégats (en tonnes) issus des déchets de CRD au Québec en 2021, (Recyc-Québec, 2021).....	16
Figure 8 : Exemple de fiche de matériaux disponibles pour le réemploi (Rotor ASBL et Sixième continent, 2022).....	19
Figure 9 : Transformation d'un bâtiment commercial datant des années 1930 en logements pour étudiants (CIRCUI, 2023)	23
Figure 10 : Fiche technique du projet de déconstruction à Parksville (Synergy Foundation, 2022)	24
Figure 11 : Fiche matière « métal » (Audouin et al., 2023)	25
Figure 12 : 29 bonnes pratiques pour la réduction à la source des matériaux et résidus de construction, regroupées en cinq familles, couvrant toutes les étapes d'un projet type de construction (Source : Chayer Julie-Anne et al., 2019).....	28
Figure 13 : Multifonctionnalité, transformabilité, démontabilité illustrées (CIRCUI, 2023)	30
Figure 14 : Station de recyclage au point de passage d'un chantier de construction (Synergy Foundation, 2022).....	33
Figure 15 : Exemple d'affiche pour faciliter le tri des déchets de CRD (Joncas, 2023)	34
Figure 16 : Caractéristiques de la durabâche (Chamard stratégies environnementales, 2019)	35
Figure 17 : Capture d'écran du site de la région de Vancouver, volet construction et démolition.	36
Figure 18 : Objectif 9 de la feuille de route gouvernementale en économie circulaire du Gouvernement du Québec. (MELCCFP, 2024)	39
Figure 19 : Machine Brique Recyc (Source et crédit photo : La Presse et Robert Skinner).	40
Figure 20 : Aperçu du projet GTM Lab (Capelle et al., 2019).	42
Figure 21 : Aperçu du projet REM (Capelle et al., 2019).	42
Figure 22 : Aperçu du projet CRL (Capelle et al., 2019).	43
Figure 23 : Aperçu du projet BRIC (Capelle et al., 2019).....	43
Figure 24 : Explication du concept d'interchangeabilité (Capelle et al., 2019).	44
Figure 25 : Schéma simplifié de la méthode proposée par Raghu, Bucher et De Wolf, (2023).	52
Figure 26 : Cadastre urbain des ressources disponibles (matériaux de construction) pour ZRH....	52
Figure 27 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de pré-déconstruction.	53
Figure 28 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de déconstruction.	53
Figure 29 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de post-déconstruction.....	54
Figure 30 : Partie du graphe des connaissances sur le désassemblage pour C7, C9 et C10 de l'étude de cas 2D.....	55

Figure 31 : Système simplifié d’une enveloppe fondé sur le développement du matériau biosourcé..... 58

Figure 32 : Processus permettant la fabrication de matériaux de construction recyclés activé par un alkali..... 58

Tableau 1 : Causes des déchets de construction tout au long de la chaîne de valeur de l’industrie de la construction (Dillon Consulting et Oakdene Hollins, 2021) 32

Tableau 2 : Résultats de la méthode PESTLE 48

Tableau 3 : Analyse FFOM de l’adoption de la déconstruction au Canada (A. S. Allam, Panizza, et Nik-Bakht, 2023)..... 49

Thème principal

Cette section présente un dossier complet sur le thème principal de ce bulletin de veille.

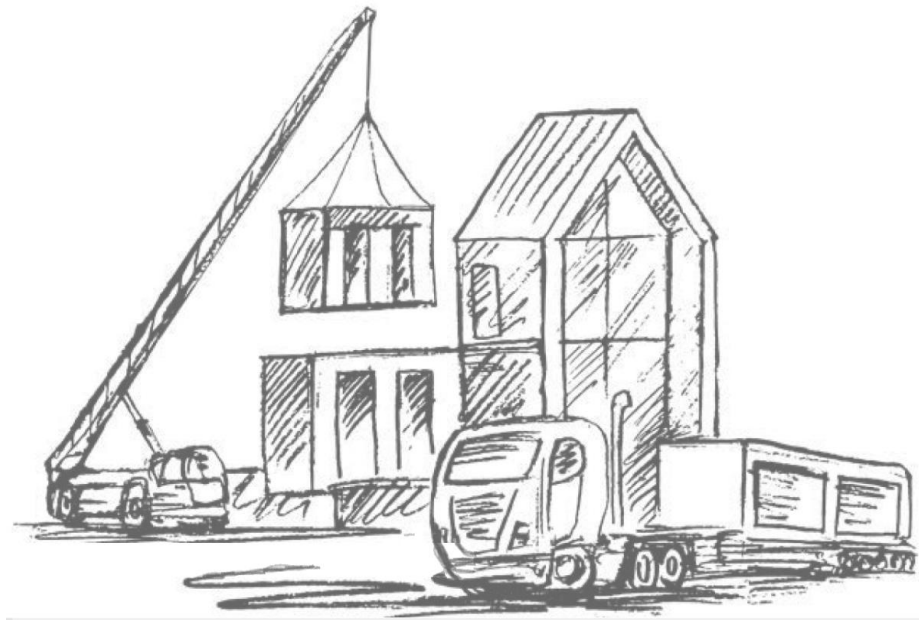
Sujet : Économie circulaire

Actualité

Cette section traite de l'actualité en lien avec le thème principal du bulletin de veille. Elle vise à fournir au lecteur des connaissances de base sur le matériau, le système et la technologie présentée ainsi que sur leur taux de pénétration dans le marché.

Le recyclage des matériaux de construction

L'objectif de ce bulletin consiste à présenter une revue de la littérature grise et documentation scientifique en rapport avec le recyclage des matériaux de construction. Plus précisément, il s'agit de comprendre comment, au Québec, au Canada et ailleurs dans le monde, sont réalisés le recyclage et la réutilisation des matériaux de construction. Quels sont les moyens pour optimiser le recyclage et la réutilisation des matériaux et comment en faciliter l'application ? Ce sont quelques-unes des questions qui seront étudiées.



(Mtech Consult Limited, s. d.)

Introduction

C'est un constat bien connu, le secteur du bâtiment, particulièrement de la construction, rénovation et démolition (CRD), génère beaucoup de déchets. Au Québec, ceux-ci sont estimés à plus de 3 512 000 tonnes par année (Recyc-Québec, 2021). À l'échelle mondiale, il est même anticipé que la production annuelle de déchets issus du secteur de la construction atteindra globalement 2.2 milliards de tonnes en 2025 (Transparency market research, 2017). Aux États-Unis, c'est 600 millions de tonnes qui ont été générées en 2018 (US EPA, 2024). D'ailleurs, nombreux sont les articles qui discutent de cette triste réalité en utilisant des titres provocateurs comme :

- Industrie de la construction « On jette de bons matériaux aux ordures » (Dubé 2022);
- *Construction waste is costly: what's causing it on South African building sites* (Fitchett 2022);
- *Construction waste ends up in illegal landfills even though 70 % can be recycled* (Spasić 2023);
- *The big problem of building waste and how to tackle it* (Woollacott 2021);
- *“Queen of Trash” in dock in Sweden's biggest toxic waste scandal* (Agence France-Presse 2024).

Dans un de ces articles, l'auteur pose la question suivante aux experts : « Sommes-nous embourbés à ce point que nous n'arrivons plus à nous sortir la tête du site d'enfouissement? » Un grand nombre d'experts répondent : « Non, mais le problème s'aggrave de jour en jour. » (BigRentz 2024) Cela s'explique par plusieurs raisons : réglementation non adéquate, manque de rentabilité, matériaux non adaptés au recyclage, non-respect des bonnes pratiques, obsolescence planifiée, etc. Malgré plusieurs initiatives encourageantes, des exemples alarmants sont encore trouvés. Ainsi, en est-il du Service 3R Valorisation qui opère « un centre de tri délinquant » à Montréal-Est. Le Gouvernement du Québec lui a interdit officiellement d'exploiter dans la province un centre de tri de débris de construction ou démolition à cause de ses manquements environnementaux répétés au fil des années (après une saga de dix ans). C'est un terrain aux allures de dépotoir que laisse cette entreprise, avec des montagnes de résidus dont la hauteur frôle par endroits dix mètres et qui couvrent aujourd'hui la totalité du site de 10 000 m² (Bergeron, 2024).



Figure 1 : Centre de tri du Service 3R Valorisation à Montréal-Est (photo Dominick Gravel, Source : La Presse)

D'autres sont plus optimistes, comme la Présidente-directrice générale de la Société québécoise de récupération et de recyclage (Recyc-Québec), qui « constate que le fruit est mûr » et que « l'industrie de la construction est prête à s'attaquer à son problème de déchets » (Léveillé, 2024). Peu importe, la réalité est que le carbone lié à l'énergie nécessaire à la production des matériaux et à leurs installations représente 11 % des GES à l'échelle mondiale. Considérant que les enjeux se trouvant en relation avec les changements climatiques engendrent des conséquences de plus en plus graves sur les populations, il est temps que le vent tourne.

Dans un premier temps, ce bulletin établit principalement le portrait de la situation Québec. Ensuite, seront présentés quelques projets à succès en relation avec la réutilisation et le recyclage des matériaux de construction, ainsi que des initiatives à l'échelle municipale, de la province ou de pays qui propulsent le secteur des matériaux de construction vers une transformation profonde. Comme l'aspect technologique n'est pas à négliger, bien que n'étant pas situées aux cœurs des principales solutions, quelques avancées technologiques seront aussi exposées.

Survol de la littérature grise

Portrait de la situation

Statistiques sur la quantité de déchets générés au Québec

Le portrait de la situation indique que : « La quantité de résidus générés par la CRD est en hausse depuis que ces données sont compilées spécifiquement en 2015 et la proportion de ce qui est récupéré régresse » (Léveillé, 2024) (voir Figure 2).

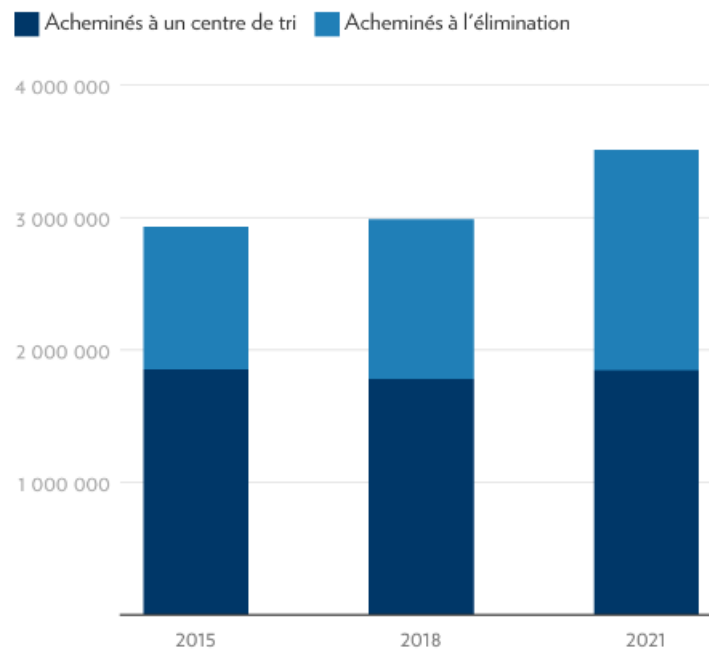


Figure 2 : Évolution des résidus provenant du secteur de la construction, rénovation et démolition en tonnes (Source : Données provenant de Recyc-Québec, figure adaptée par Léveillé, 2024)

La quantité totale amassée dans l'ensemble des centres de tri du Québec est estimée à environ 1 846 000 tonnes de déchets. Il s'agit d'une augmentation estimée de 4 % par rapport aux 1 781 000 tonnes recueillies en 2018. De plus, une augmentation de 12 % des résidus de CRD éliminés est observée, ce qui indique que les générateurs de résidus de CRD semblent encore choisir davantage l'élimination que la récupération (Recyc-Québec 2021b). Par ailleurs, les quantités comptabilisées ne prennent pas en considération les quantités de matières entreposées ou éliminées dans des sites illégaux. En fait, les quantités exactes qui y sont acheminées sont très difficiles à estimer. Ainsi, le site web de Radio-Canada annonce qu'un bâtiment agricole de Brigham en Estrie, d'une longueur de 150 m, a été rempli de tonnes de déchets de construction depuis 2017 à l'insu même du propriétaire de cet établissement (Deshaies, 2024). Le ministère de l'Environnement a infligé un total de 68 condamnations, totalisant plus d'un million de dollars depuis 2019, mais il ne semble pas que cela ait permis de ralentir ce fléau.

De plus, tout ce qui se retrouve au centre de tri ne sera pas nécessairement recyclé. En 2021, les centres de tri de résidus de CRD ayant répondu au bilan ont envoyé 650 000 tonnes de rejets vers des lieux d'élimination, soit une hausse de 32 % par rapport aux 492 000 tonnes cumulées en 2018. Une autre partie sert à la valorisation énergétique, à l'exportation ou encore est entreposée dans le site. Par rapport au taux de recyclage des résidus de CRD, un taux de 7,4 % est atteint, ce qui se rapproche du 10 % évalué par le Front commun québécois pour une gestion écologique des déchets. Cet organisme avance néanmoins que plusieurs résidus de CRD pourraient, en théorie, être facilement recyclables ou réutilisables. Pourtant, les CRD sont trop souvent valorisés sous forme de matériaux de recouvrement dans les lieux d'enfouissement (FCQGED, 2024).

La figure suivante permet de visualiser le parcours des déchets de CRD sous forme d'un diagramme de Sankey, bien qu'il n'ait malheureusement pas été possible d'évaluer la quantité de déchets illégaux. De plus, dans le document de Recyc-Québec, une quantité de 626 600 tonnes de déchets est destinée à un usage non spécifié.

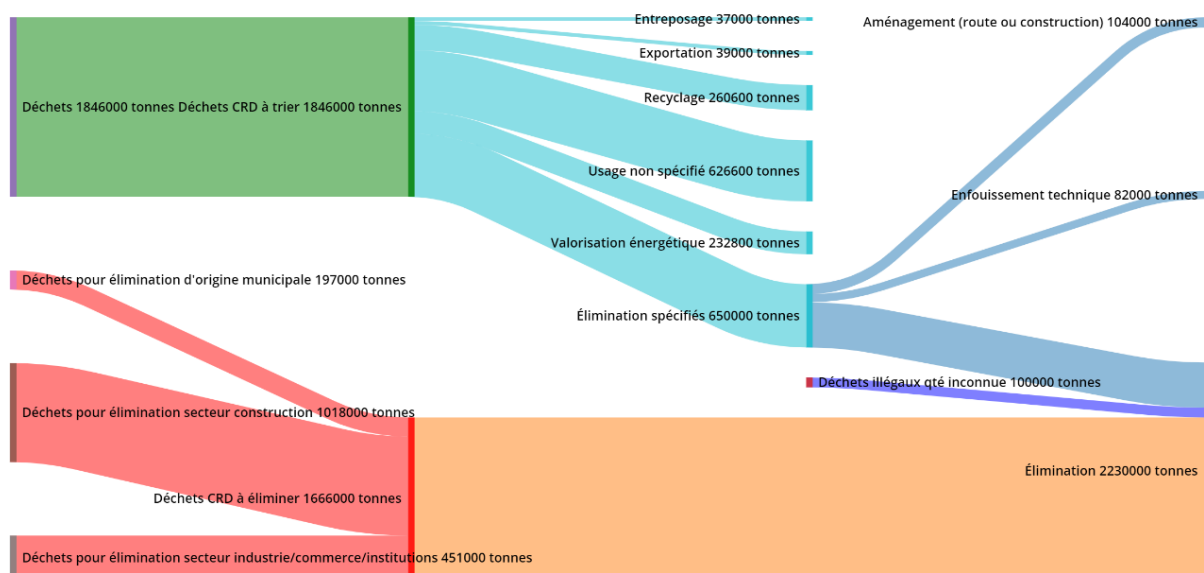


Figure 3 : Flux des déchets issus de la CRD (Source données : Recyc-Québec, 2021, Source de la figure : CIRCERB¹)

La Figure 4 présente un portrait des matières provenant du secteur de la CRD qui ont été recyclées par les centres de tri au Québec en 2021.

¹ Figure réalisée à partir du site suivant : <https://sankeydiagram.net/>.

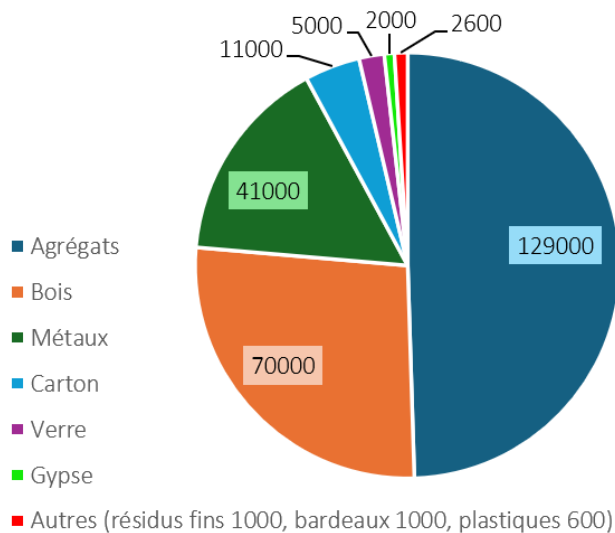


Figure 4 : Quantité de matières recyclées (en tonnes) provenant du secteur CRD par les centres de tri au Québec en 2021
(Données sources : Recyc-Québec 2021, adapté par le CIRCERB)

Quels sont les matériaux réemployés et recyclés ?

Le principal avantage du réemploi des matériaux consiste en l'utilisation des ressources et de l'énergie soustrait en réduisant la production de nouveaux matériaux. En effet, le réemploi de matériaux à l'échelle d'un bâtiment consiste à réutiliser, quasi tel quel, ces éléments à de nouveaux endroits (une fenêtre reste une fenêtre). À ne pas confondre avec le recyclage qui implique une transformation. Par exemple, le polychlorure de Vinyle (plus communément appelé PVC) des fenêtres devient des tuyaux et les vitres sont fondues et transformées en bouteilles (Klt 2024). Les paragraphes suivants présentent des matériaux de CRD couramment réemployés et recyclés ainsi que leurs applications.

D'abord, dans le domaine de la réutilisation, les éléments faciles à enlever comme les portes, la quincaillerie, les appareils électroménagers et les luminaires peuvent être donnés et réemployés lors de la reconstruction ou servir à d'autres travaux (US EPA, 2024).

Bois : Au Québec, environ 70 000 tonnes de bois ont été recyclées en 2021, ce qui représente 27 % du total des déchets recyclés provenant du secteur de la CRD. Ensuite, 184 000 tonnes de bois ont été brûlées, ce qui n'entre pas dans la catégorie du recyclage, mais bien de la valorisation énergétique. Comme le recyclage du bois sert à la composition de plusieurs produits, le constat dégagé est qu'il existe encore un potentiel énorme de recyclage et que cela devrait être priorisé au détriment de la valorisation énergétique. C'est d'ailleurs la position de Zéro Waste France, qui réfère en fait une solution de dernier recours, lorsqu'aucun des procédés occupant une position plus élevée dans la hiérarchie de la gestion des déchets se révèle possible (Copros, 2018).

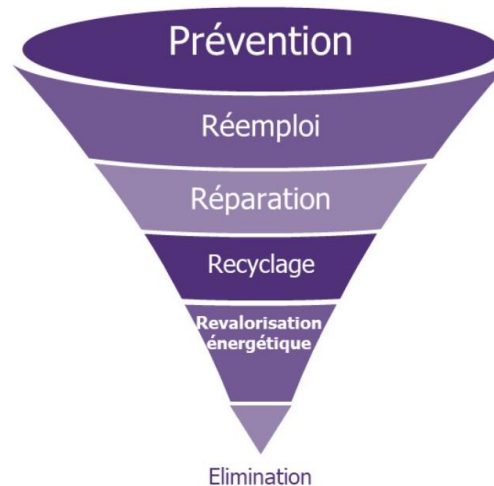


Figure 5 : Hiérarchie de la gestion des déchets (Madeline COPROS, 2018)

Parmi les options du réemploi, les découpes de bois sont envisagées, elles qui sont utilisées pour la fabrication de linteaux ou la construction de charpentes, lorsque de petits morceaux se révèlent nécessaires afin d'éviter de tailler de petits morceaux dans des pièces d'une longueur importante (réemploi). Les retailles de bois peuvent être réduites en copeaux sur place et utilisées comme paillis couvre-sol ou encore comme compost (US EPA, 2024). Le bois peut être recyclé afin d'être transformé en produits de bois d'ingénierie et de servir à la fabrication de meubles. Dans le bois d'ingénierie se retrouve le CLT (bois lamellé-croisé). Par exemple, sur l'île Robin Wood à Amsterdam, l'ossature de bois d'un bâtiment a été construite à partir de CLT et d'aluminium, dans les deux cas issus de matériaux recyclés. Le CLT installé avec des connecteurs peut également se réemployer facilement en l'utilisant sur une nouvelle structure (Bois Laurentides, 2023).

Au Québec, ce sont les conditionneurs de bois qui reçoivent des résidus de bois sous différentes formes et les traitent pour qu'ils puissent ensuite servir d'intrants à des recycleurs de bois en agriculture, en horticulture ou à des installations de valorisation énergétique. En ce qui concerne les recycleurs de bois, ces entreprises reçoivent des résidus de bois qu'elles intègrent à leurs procédés afin de fabriquer un produit fini tel que des panneaux de particules (mélamine) ou des panneaux d'insonorisation. Quant aux recycleurs et conditionneurs de bois traité, ces industries se spécialisent dans la transformation du bois traité. Elles reçoivent dans leur très grande majorité des produits en fin de vie comme des poteaux d'utilité publique ou encore des dormants de chemin de fer. Les entreprises de cette catégorie peuvent transformer ces produits pour le réemploi (par exemple, en autres poteaux électriques ou de clôtures) en divers produits du bois (par exemple, des planches) ou encore en copeaux pour la valorisation énergétique (Recyc-Québec 2021a).

Le réemploi des résidus de bois demeure difficile, notamment en raison de la qualité et aussi de la quantité parfois trop faible des intrants reçus par les entreprises. Le recours à la déconstruction de certains bâtiments permettrait d'offrir une plus grande possibilité de réemploi (Recyc-Québec 2021b). Trop souvent encore, beaucoup de bois termine malheureusement sa vie utile dans la voie de l'élimination.

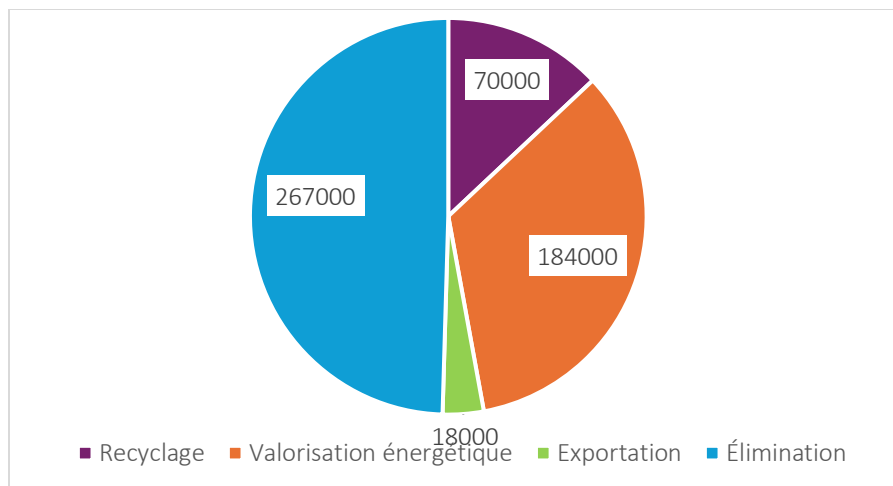


Figure 6 : Destination du bois (en tonnes) issu des déchets de CRD au Québec en 2021, (Recyc-Québec, 2021)

Gypse : Au Québec, quelques débouchés pour le gypse recyclé sont trouvés. Il est parfois envoyé chez l'organisme Gypse du Fjord Recyc-Mobile pour être transformé en engrais agricole (Bois Laurentides, 2023). L'enveloppe des panneaux de gypse peut aussi être broyée et recyclée comme n'importe quel papier ou produit en bois et le cœur du panneau peut être transformé à l'infini, et ce, sans perte importante de rendement. Le gypse peut également être concassé et utilisé en quantité modérée comme aménagement du sol (US EPA 2024)

Selon Sydney Mainster, conceptrice et directrice de la durabilité à la *Durst Organization*, le gypse offre un cycle idéal de fabrication, à condition de bien planifier l'enlèvement du matériau. Et la législation peut s'avérer à cet égard la clé de l'avancement du recyclage des cloisons sèches. Bien que les lois varient d'un pays à l'autre, elles sont particulièrement strictes en prescrivant le réemploi et interdisant la mise à la décharge à Boston et dans le Nord-Ouest du Pacifique (une proposition semblable est actuellement à l'étude à New York) Ce qui a permis d'atteindre des taux de recyclage des cloisons sèches particulièrement élevés (Blander, 2019). Au Québec, c'est cependant loin d'être le cas, avec 2 000 tonnes de gypse recyclé pour 100 000 tonnes de gypse éliminé en 2021 (Recyc-Québec 2021b).

Verre : Le verre est un matériau qui offre un bon potentiel de réutilisation et de recyclabilité. À cet égard, Sydney Mainster affirme : « Qu'il est assez facile de transformer le verre clair en nouveaux produits ». Cependant, toujours selon elle : « Le verre coloré est presque toujours mis en décharge ». Mic Patterson, un concepteur qui a effectué des recherches et publié de nombreux articles sur le développement durable et l'architecture, déclare que plusieurs traitements du verre et de nombreuses techniques de surface excluent la possibilité de recyclage des matériaux de construction (Blander 2019). Dans de nombreux cas, les procédés destinés à améliorer l'efficacité d'une fenêtre, tels que le traitement thermique, le laminage, le revêtement et l'isolation à double ou triple vitrage, rendent le matériau primaire qu'est le verre plat impropre au recyclage. Dans ces cas, explique-il, la matière première ainsi que le savoir-faire technique et la production qu'elle implique deviennent inutilisables. Le verre à haut rendement peut, en dernier recours, être recyclé comme agrégat à la place du gravier et de la pierre. De cette manière, le verre trouve sa place dans les mélanges destinés à certains usages intérieurs, tels que les comptoirs en céramique ainsi que dans le béton, bien qu'il ne soit pas certain que ces mélanges de ciment et de verre soient aussi

efficaces d'un point de vue technique (Blander, 2019). Au Québec, en ce qui concerne les déchets issus du secteur CRD, 5 000 tonnes de verre recyclées par rapport à 3 000 tonnes de verre auraient été éliminées en 2021 (Recyc-Québec, 2021).

Ciment / béton / brique : Les briques et le béton peuvent être réemployés sous différentes formes pour remplir diverses fonctions, qu'il s'agisse de fournir des agrégats pour la construction d'un nouveau béton ou de créer des fondations pour des allées (Guberman, 2022). Selon Dirk Hebel, professeur en construction durable à l'Institut de technologie de Karlsruhe, les additifs chimiques de plus en plus répandus dans le béton réduisent sa recyclabilité et les composites non désirés et potentiellement dangereux ne devraient pas être recyclés en nouveaux produits. Pour ces raisons, M. Hebel explique que : « Lorsque l'on parle de recyclage du béton, on parle généralement de *downcycling*² ». L'utilisation du *downcycling* la plus courante est celle du béton broyé sous forme d'agrégats ou comme matériau de remplissage dans la construction (par exemple, des murs de soutènement et travaux de terrassement). Brownell et Hebel conviennent que les architectes et concepteurs peuvent faire partie de la solution, en prenant des mesures pour s'assurer que les matériaux de construction soient triés proprement après une démolition et en travaillant avec les ingénieurs et entrepreneurs pour restreindre l'usage du béton à contenu recyclé dans les projets et l'employer où cela s'avère adéquat (Blander 2019). Tel qu'il sera démontré plus loin dans ce bulletin, il est assez facile de réemployer les briques si un processus de déconstruction est choisi plutôt que la démolition. La figure suivante présente l'état de la situation en ce qui concerne l'usage des agrégats au Québec en 2021.

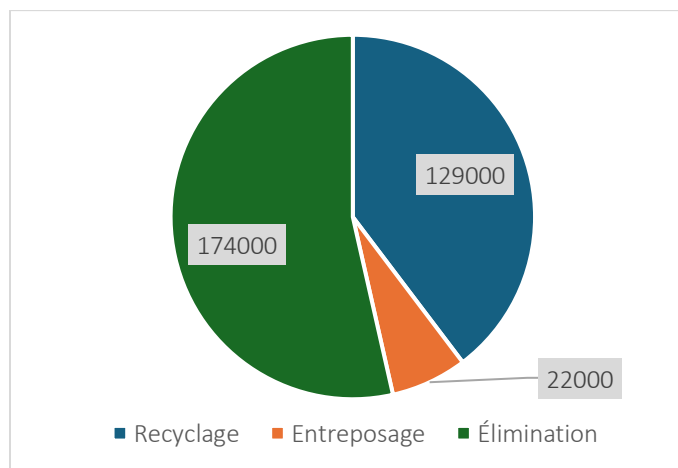


Figure 7 : Destination des agrégats (en tonnes) issus des déchets de CRD au Québec en 2021, (Recyc-Québec, 2021)

Bardeau d'asphalte : Il existe deux principaux débouchés pour les bardeaux d'asphalte au Québec : La valorisation énergétique en cimenterie (carton bitumineux) et le recyclage dans l'asphalte. Alors que le recyclage des bardeaux d'asphalte a longtemps été difficile, Recyc-Québec souligne que la situation tend à s'améliorer, puisque le ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports (MTMDET) autorise depuis 2016 l'incorporation des bardeaux d'asphalte post-consommation dans le revêtement de chaussée en enrobé (soit 3 % de bardeaux postconsommation pour les enrobés de surface et 5 % en couche de base) (Recyc-Québec, 2018a).

² Déchet recyclé sous la forme d'un nouveau produit de moindre qualité.

La situation semble un peu mieux aux États-Unis avec un taux de recyclage d'environ 13 % (IKO 2023).

Recouvrement de plancher : Moins de 10 % des moquettes sont recyclées, alors que la difficulté principale réside dans les matériaux nécessaires à leur installation, tels que les adhésifs, les supports en latex et en carbonate de calcium ainsi que les coussins en polyuréthane. Plusieurs fabricants, tels que Shaw, Interface et Tandus Centiva, ont mis en place des programmes de récupération et reprise, avec un succès considérable en ce qui concerne le détournement des déchets de revêtement de sol des décharges, mais il s'agit néanmoins de l'exception qui confirme la règle.

Sean Ragieli, président et fondateur de CarpetCycle, une société située dans le New Jersey aux États-Unis, qui cherche à trouver des utilisations pour les moquettes et produits de construction post-consommation, insiste sur l'importance d'enlever les carreaux de moquette aussi proprement que possible. En ce qui concerne les revêtements de sol rigide, l'état du recyclage du PVC connaît un succès mitigé. Malgré certaines initiatives de recyclage réussies des fabricants, Jim Vallette déclare que : « L'économie de la production de plastiques bon marché a été un puissant contrepoids ». Les adhésifs, isolants et produits d'étanchéité entravent en fait beaucoup les efforts de recyclage.

La moquette peut être réemployée pour produire des sous-couches, des rembourrages et du fibre de verre. Les dalles de moquette, le PVC, le vinyle et les surfaces souples prédominent, quant à eux, dans les revêtements de sol commerciaux, alors que chacun de ces matériaux pose ses propres problèmes de recyclage (Blander, 2019).

Cuivre, bronze, aluminium : Ces métaux sont faciles à recycler. Au premier chef, les tuyaux de cuivre sont souvent recyclés pour créer de nouveaux produits en cuivre. Il en va de même pour l'aluminium, car lorsqu'il s'agit d'éléments structurels, il est possible de les réutiliser dans d'autres constructions.

L'isolation : L'excédent d'isolation des murs extérieurs peut être utilisé dans les murs intérieurs comme matériau insonorisant. Certains types de panneaux isolants peuvent être réutilisés s'ils n'ont pas été endommagés au cours de la déconstruction.

La peinture : Elle peut être remélangée et utilisée dans les garages ou entrepôts ou encore comme couche d'apprêt pour d'autres travaux.

Les matériaux d'emballage : Les matériaux d'emballage peuvent être renvoyés aux fournisseurs pour être réutilisés.

Structure : Un pont d'Amsterdam sera démantelé et remonté dans un autre quartier (Bois Laurentides, 2023).

La porcelaine : La porcelaine peut être broyée et revendue aux fabricants de carreaux, qui pourront ensuite produire des carreaux contenant jusqu'à 40 % de matériaux recyclés (Guberman, 2022).

Un site qui collige l'information

Dans une publication disponible sur le site de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), une collection de 36 fiches s'adresse aux auteurs de projets désireux de

réemployer des matériaux de construction dans leurs réalisations (Rotor ASBL et Sixième continent 2022). Chaque fiche a pour but de répondre à une série de questions récurrentes auxquelles ils sont confrontés :

- Quels sont les matériaux de construction qui se prêtent bien au réemploi?
- Où trouver ces éléments?
- Quelles sont les caractéristiques de rendement de ces produits et comment les évaluer?
- Comment intégrer ces matériaux dans des documents prescriptifs, comme les cahiers des charges?

Bien que non exhaustives et ne pouvant se substituer à l'expertise des professionnels, ces fiches rassemblent une série d'informations connues, mais souvent dispersées dans une sélection de prospectus de matériaux à haut potentiel de réemploi et relativement stables sur le marché. Il est possible de les trouver sur le site Web suivant : <https://opalis.eu/fr/materiaux>. Voici des exemples de matériaux pouvant être repérés.

FICHE INTRODUCTIVE

Interreg FCRBE
REUSE TOOLKIT

Fiches réemploi
Fiche introductive - Introduction générale
Comment sont structurées les fiches réemploi ?

Cette fiche rassemble des informations transversales qui sont d'application pour tous les matériaux de réemploi. Elle détaille aussi certains choix méthodologiques adoptés dans la constitution des fiches.

GROS-OEUVRE ET ENVELOPPE : Poutres et poteaux en bois, briques, tuiles, ardoises et couvre-murs, bardage et lambris en bois, seuils, marches et moellons en pierre, structure en acier







		
Bois massif et structure à section rectangulaire	Élément de structure en bois lamellé collé	Bois de grange "Barnwood"
		
Briques pleines en terre cuite	Tuile de toit en terre cuite	Éléments de couverture en ardoise naturelle

Figure 8 : Exemple de fiche de matériaux disponibles pour le réemploi (Rotor ASBL et Sixième continent, 2022)

Afin d'éviter la répétition et à titre d'information complémentaire, le bulletin de veille n° 31 *Comment se dessine l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment ?* devrait être consulté (Drouin 2020).

Qu'est-ce qui est recyclé au Québec ?

La Figure 4 présente un portrait des matières provenant du secteur de la CRD qui sont recyclées par les centres de tri au Québec en 2021.

Le réemploi au Québec

Populariser le réemploi permet de réduire la production de déchets ou de résidus de CRD, qui finissent la plupart du temps dans un centre d'enfouissement. Pour façonner une économie

circulaire à Montréal, l'organisme Circle Economy³ suggère de privilégier les pratiques circulaires dans le secteur de la construction et celui manufacturier, alors qu'ils représentent ensemble plus de 60 % de la consommation des matériaux vierges de la ville (Klt, 2024).

Si cette démarche peut paraître logique et cohérente, de nombreux freins ralentissent sa généralisation et rendent les opérations de réemploi coûteuses. En voici quelques exemples :

- **Coût en lien avec la disposition des matériaux** : Dans notre système économique, cela coûte malheureusement moins cher d'acheter du neuf que de déconstruire, conditionner et acheminer des matériaux;
- **Expertise** : Il est nécessaire de créer de nouvelles pratiques professionnelles qui maîtrisent les techniques de déconstruction et de former des acteurs spécialisés dans chaque filière;
- **Manque de débouchés** : Les nouvelles constructions doivent aussi prévoir d'intégrer des matériaux issus du réemploi;
- **Garantie et intégrité des matériaux** : Comment peut-on s'assurer de la conformité des matériaux s'ils ne sont pas neufs? Cela pose des questions de responsabilité et d'assurance. Certains matériaux peuvent être contaminés (par exemple, l'amiante ou le plomb), ce qui empêche leurs possibilités de réemploi;
- **Échéanciers** : L'intégration du réemploi dans les échéanciers des chantiers, déjà très complexe et engageant de multiples partenaires, peut freiner ces initiatives.

Bien qu'il serait intéressant de connaître la quantité de matériaux réutilisés dans le secteur de la construction au Québec, il faudra patienter encore, car il n'a pas été possible de trouver ces données. Les quantités de matières résiduelles mises en valeur par le réemploi dans l'ensemble du Québec représentaient environ 157 000 tonnes en 2006. Toutefois, ces articles étaient principalement constitués de vêtements, d'accessoires, de livres et de documents (Cliche 2010). En France, il est estimé qu'environ 1 % des matériaux de construction sont réemployés (Rotor ASBL et Sixième continent, 2022).

Le premier rapport sur la circularité au Québec fournit quelques informations génériques sur le sujet (Haigh et al., 2021). D'abord, l'indicateur de circularité dans cette province s'élève à 3,5 %. Cela signifie que, sur 271,1 millions de tonnes de ressources consommées, 96,5 % ne sont pas remises dans l'économie et sont, soit bloquées dans les stocks (comme l'infrastructure ou la machinerie), soit émises, perdues ou considérées comme une biomasse circulaire et renouvelable. À titre de comparaison, les Pays-Bas affichent un indice de circularité de 8 % et semblent se situer en tête de liste (Circle Economy, 2024). Les efforts de la Finlande en matière de circularité ont quant à eux reculés au cours de la période 2010-2021. En 2018, par exemple, l'utilisation de matériaux circulaires dans cette juridiction était d'environ 7 % et, deux ans plus tard, elle est tombée à 4,5 % (Sean Mowbray 2024). Pour améliorer la situation, les auteurs proposent une stratégie au moyen de 17 interventions indépendantes ou, encore, une combinaison d'interventions pour un plus grand succès. La première intervention concerne principalement le secteur du bâtiment et se veut la suivante : Utiliser moins, recycler davantage. Comme cela est

³ <https://www.circularity-gap.world/montreal>.

mentionné : « Toutes les matières tirées de la construction et de la démolition seront réutilisées dans de nouveaux projets et le nombre de nouveaux projets devrait diminuer, puisqu'une rénovation et un entretien accru servent à préserver et à prolonger l'utilisation des constructions existantes. » (Haigh et al., 2021)

Il existe d'excellentes possibilités dans ce domaine : Au Canada, 3,4 millions de tonnes de matériaux de construction sont envoyées à l'enfouissement chaque année, ce qui dégage environ 1,8 millions de tonnes équivalentes de CO₂ (teq CO₂). Si le secteur de la construction privilégiait la déconstruction plutôt que la démolition, en réutilisant jusqu'à 85 % des matériaux, il serait possible de réduire les émissions d'environ 1,3 millions de teq CO₂ par année et les volumes de matières résiduelles, de 2,5 millions de tonnes (Dillon Consulting et Oakdene Hollins, 2021). Déjà, quelques entreprises se positionnent pour soutenir ce secteur. Par exemple, Surcy⁴, une entreprise montréalaise, offre ses services pour faciliter le réemploi des matériaux de construction. Recocentre⁵, quant à lui, se présente comme spécialiste du réemploi des matériaux de construction provenant de dons. En tant qu'organisme de bienfaisance, son client, en plus de contribuer à revaloriser des matériaux qui autrement finiraient à l'enfouissement, ne paie pas de taxes. Quant à Brique-Recyc⁶, il permet de remettre en circulation des briques provenant de chantiers. Enfin, le Lab Construction du CERIEC⁷ diffuse actuellement les résultats de trois années de travail et d'expérimentation sur la circularité des ressources dans le secteur de la construction (Klt, 2024).

Projets à succès

Suisse : La Suisse possède la première maison entièrement recyclable au monde; elle a été construite en 2019 (Bois Laurentides, 2023). Les matériaux qui composent sa structure pourront être réutilisés, recyclés ou compostés lors de son démantèlement. En effet, le bâtiment peut être entièrement déconstruit, puis reconstruit selon les besoins, puisque ses différentes composantes ne sont pas collées entre elles, mais imbriquées les unes dans les autres. La façade de la maison est notamment construite en bois non traité et en plaques de cuivre recyclé. Le matériel a été récupéré d'un hôtel autrichien, puis fondu, avant d'être reconstruit pour devenir l'habitation suisse. Cette maison durable a été préfabriquée en usine, puis assemblée directement sur place en une journée seulement (Palaizines, 2018).

Dans son bureau d'architecte aménagé dans une maison à colombages restaurée du XVI^e siècle, Gabriel Müller coordonne des projets qui tiennent d'une catégorie sportive inédite, qu'on pourrait appeler « le déménagement extrême ». Par exemple, le projet actuel consiste à déconstruire, reconstruire et rénover une « petite maison de sorcière » à Frauenfeld. Avec l'aide de quinze amis artisans et de nombreux bénévoles, l'architecte a passé les trois dernières années à démonter cette petite demeure de 166 ans jusqu'à la dernière brique et à la reconstruire dans un endroit mieux adapté. Comme un casse-tête, quelque 6 000 pièces ont pu être réutilisées à ce jour, dont des poutres, des tuiles anciennes, des fenêtres et même la porte d'entrée. À divers endroits, l'architecte a complété l'édifice avec des pièces issues de sa collection personnelle. Seule la salle

⁴ <https://www.surcy.ca/>.

⁵ <https://recocentre.ca/>.

⁶ <https://briquerecyc.com/>.

⁷ <https://constructioncirculaire.com/>.

de bain et la cuisine sont entièrement neuves, pendant que la maison est bien évidemment raccordée au réseau électrique et munie d'un chauffage (à bois), vu qu'un peu de confort contemporain est permis.

Québec : Le pavillon principal de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC) ayant besoin d'une cure de rajeunissement, un projet pilote de déconstruction mené par le directeur du Service des immeubles et équipements de l'UQAC et le directeur de la Chaire en éco-conseil de l'université prend naissance (Bois Laurentides, 2023). À ce jour, près de 90 % des matériaux de CRD sont revalorisés avec 15 % de coûts supplémentaires, principalement dus au temps pour séparer les matériaux. En retour, au moins 150 \$ sont économisés pour chaque tonne de déchets détournés.

Allemagne : Chaque année, 220 millions de tonnes de déchets de construction sont dénombrées en Allemagne. Le recyclage et réemploi permet de s'en servir pour construire de nouveaux bâtiments. La première maison d'habitation recyclée dans ce pays a été construite à Hanovre en 2019. Des radiateurs, des marches d'escalier et quelques murs sont constitués d'anciens bancs de sauna. L'isolation de la façade est composée de sacs de jute pour les fèves de cacao recyclés et les fenêtres proviennent d'un ancien centre pour les jeunes. À Berlin, les spécialistes Alice Gedamu, Laurence Pagni et Simon Lee veulent révolutionner le secteur du bâtiment. Sur le site d'une ancienne brasserie, l'équipe a en effet construit une maison de plusieurs étages à partir de déchets et de pailles. Ils ont surtout utilisé des maisons en démolition et ont expérimenté en recourant à des matériaux rejetés par d'autres chantiers. Cela a permis au trio d'obtenir de faibles coûts de construction, qui serviront notamment à alléger les frais des futurs locataires (Berg, 2024).

Europe : Le projet dont il est question dans cet exemple est d'envergure : Il concerne plusieurs villes et plusieurs bâtiments. Le rapport *Circular Construction in Regenerative Cities* (CIRCuiT) présente les principaux apprentissages et outils ainsi que les méthodologies et recommandations générées par le projet CIRCuiT de 2019 à 2023, plus précisément dans les villes de Copenhague, Hambourg et Londres ainsi qu'Åland en tant que ville de Finlande située dans la région d'Helsinki (CIRCuiT, 2023). De nombreux outils ainsi que diverses techniques et approches de construction circulaire ont été inventés et testés en Europe, mais les pratiques circulaires doivent encore être étendues efficacement à l'échelle d'une ville ou d'une région. Afin d'explorer comment l'économie circulaire pourra être efficacement intégrée à des villes à travers l'Europe, CIRCuiT a été constitué afin de combler le fossé entre la théorie, la pratique et l'action.

Pour démontrer à quoi peut ressembler une transformation à succès de bâtiment, chacun des démonstrateurs a donné l'exemple d'une série d'édifices souvent menacés de démolition dans les villes CIRCuiT et au-delà, ainsi que des défis typiques liés à la transformation de ces constructions. Ils ne se contentent pas de prouver que les villes peuvent intégrer des techniques de construction circulaire, mais ils démontrent que ces activités sont extensibles et reproductibles. Ainsi, l'un des projets étudiés concerne la transformation d'un complexe commercial datant des années 1930 en logements pour étudiants, comme le montre cet article.

Copenhagen



Transforming a 1930s commercial site into student housing

Virtual Demonstrator

Overview

Buildings on the commercial plot were originally developed for manufacturing, including production of timber, soda water and cast metal products.

Currently, the site houses businesses including auto repair shops, a night club, musicians' studios, start-up companies and education services.

Threat of demolition

Industrial buildings account for the vast majority of demolished area in Denmark. Typically, a site like this is sold to a developer that will demolish it as far as possible so new housing can be built. The huge demand for housing in Denmark and soaring residential prices means the developer is likely to build at high density.

Transformation project

CIRCuiT partners in Copenhagen and local built environment stakeholders investigated how the site could be transformed into affordable student housing. Overall, the circular intervention's lower material consumption resulted in a potential CO₂ saving of 23%.

Key findings

Public data has an important role in assessing transformation potential. A publicly available database made it possible to create static calculations and a 3D model of the building's construction and layout to support the design process.

Figure 9 : Transformation d'un bâtiment commercial datant des années 1930 en logements pour étudiants (CIRCuiT, 2023)

France : Le site Opalis⁸ est un outil de référence pour se servir de matériaux de réemploi dans des projets de construction et rénovation. Le site s'organise autour de quatre grandes rubriques : 1) un annuaire des fournisseurs en ligne; 2) un catalogue de produits de réemploi; 3) des projets inspirants et 4) une librairie en ligne. La rubrique 3 se montre particulièrement riche en projets et explique avec force et détails comment les architectes ont réalisé le projet et quels sont les matériaux ayant été réemployés (en plus des stratégies). Avec plus de 600 revendeurs répertoriés, dont plus de 200 sur le territoire français, cet outil permet dorénavant d'effectuer des recherches avancées selon des critères prédéfinis (par nom de fournisseur, de pays et de ville, par type de matériaux recherchés ainsi que par services et opérations proposés), afin de faciliter l'accès aux matériaux disponibles et à la compétence des revendeurs professionnels. L'annuaire en ligne se révèle primordial pour trouver des fournisseurs pouvant répondre à des demandes spécifiques et pour dénicher également des professionnels capables de remettre en circulation des matériaux provenant de chantiers de démolition ou rénovation.

⁸<https://opalis.eu/fr/projets>.

Parkville, Colombie-Britannique : En 2021, *Hirst Avenue Townhouses*, en partenariat avec *Tectonica Management*, a opté pour déconstruire plutôt que démolir une structure existant sur le site *DUO Townhomes*, ce qui a permis de détourner 94 % de déchets (en poids) des sites d'enfouissement. Voici la fiche technique du projet :

Deconstruction location: Parkville, B.C.
Building type: Three Single Family Homes
Area deconstructed: 6,000 square feet
Age of deconstructed buildings: 1970s
Duration of deconstruction: Three months

Material Diversion	Weight (kg)	Percentage (%)
Reused onsite	616,132	82%
Donated for reuse	10,864	1%
Recycled	80,317	11%
Landfilled	43,300	6%



Project Highlights

- ✓ Deconstructed dimensional lumber reused in the new build for concrete forms and back framing
- ✓ Concrete foundation reused onsite as road base
- ✓ Materials donated for reuse included light fixtures, lumber, bricks and offcuts of wood
- ✓ Metals, oil, paint, asphalt roofing shingles and drywall were among the recycled items
- ✓ Construction was able to start onsite while deconstruction was still taking place
- ✓ Trees felled onsite were processed into lumber

Figure 10 : Fiche technique du projet de déconstruction à Parkville (Synergy Foundation, 2022)

Québec : Au Québec, un projet pilote de tri sur un chantier a permis de documenter les conditions gagnantes permettant l'augmentation des matières récupérées et de calculer les impacts réels du tri à la source. Le projet, initié par l'Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec (APCHQ), s'est déroulé dans 11 chantiers situés au sud du Québec. Tous chantiers confondus, le taux de mise en valeur a été augmenté en moyenne de 25 %. Les scénarios de référence présentaient un taux de mise en valeur moyen de 33 %, passant à 58 % pour le scénario de tri à la source (Audouin et al., 2023). Dans ce rapport, les auteurs présentent les modes de gestion utilisés dans les différents chantiers, les réussites et les faiblesses pour chacune des matières (sous forme de fiches-matières) :


MÉTAL
DÉFINITION
Tôle, clous, vis, fil électrique, cerclage, etc.
MODES DE GESTION
<p>Option 1 : Accumulation sur site et apport en point de dépôt</p> <p>Contenants de tri variables : bac Brute, Durabag, accumulation au sol</p>

<p>Option 2 : Accumulation en vrac au sol et collecte en vrac par un transporteur</p>
FORCES
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Le revêtement extérieur et le toit en tôle génèrent des quantités non négligeables de métal; ◆ Les électriciens trient facilement les métaux dans un bac dédié (bobines, chutes de fils).
FAIBLESSES
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Le prix de rachat au poids des matériaux est faible et varie continuellement; ◆ Les items en métal sont de tailles très variables (quelques centimètres à un mètre); ◆ Le faible gisement ne nécessite pas, dans la grande majorité des cas, la venue d'un conteneur. Les matières doivent donc être apportées en points de dépôt, ce qui alourdit les opérations; ◆ La variabilité des formats entraîne plusieurs problématiques : complexité pour identifier le bon contenant de tri / manipulation accrue (ex. découpe des courroies) / difficultés d'apport en point de dépôt; ◆ Collecte en vrac sur site : peu d'information sur la destination des matières.
À RETENIR
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Complexité dans le choix du contenant adapté aux dimensions générées; ◆ Faible gisement sauf si toit et revêtement extérieur en tôle; ◆ Manipulation pouvant être importante; ◆ Faible gain monétaire (temps de gestion versus prix offert par le conditionnement ou le recycleur); ◆ Solution potentielle : <ul style="list-style-type: none"> - Mutualisation de la gestion des métaux entre les chantiers d'un même entrepreneur, toutefois cela demande beaucoup de temps de ressources humaines pour la collecte sur les chantiers, puis l'apport en point de dépôt; - Appel à un récupérateur itinérant du métal entreposé sur le site, toutefois il n'est pas toujours possible de connaître le lieu d'apport; - Requérir un conteneur de faible dimension auprès d'un collecteur pour le tri à la source lorsque la structure comprend un toit de tôle ou un revêtement extérieur en tôle.

Figure 11 : Fiche matière « métal » (Audouin et al., 2023)

Stratégies

Dans cette section, des stratégies à mettre en place pour favoriser le recyclage et la réutilisation des déchets CRD, parfois sommaires, parfois détaillées, sont présentées.

Quelques plans d'action sommaires

Guberman (2022), de manière assez simplifiée, propose pour améliorer la situation : 1) d'avoir une bonne organisation; 2) de ne pas mêler les produits entre eux; 3) de réaliser une conception plus consciente et 4) de travailler avec des entreprises compétentes en matière de recyclage.

Parmi les exemples de mesures de réduction à la source des déchets de CRD, l'United States Environmental Protection Agency (US EPA) mentionne les suivantes (US EPA 2024) :

- La préservation des bâtiments existants plutôt que la construction de nouveaux bâtiments;
- L'optimisation de la taille des nouveaux bâtiments;
- La conception de nouveaux bâtiments de manière qu'ils s'avèrent adaptables, afin de prolonger leur durée de vie utile;
- L'utilisation de méthodes de construction qui permettent le démontage et facilitent la réutilisation des matériaux;
- L'emploi de techniques de charpente alternatives;
- La diminution des finitions intérieures.

En 2022, la FTQ-Construction déposait son *Plan de transition juste : Bâtir un Québec plus vert*. Ce plan se veut une référence pour ce syndicat lors de ses interventions auprès de l'industrie et une liste non exhaustive des mesures pouvant être prises afin de renverser la tendance mondiale et lutter contre les changements climatiques (FTQ-Construction 2022). Il s'attaque à deux aspects névralgiques de la construction : au cycle de vie des matériaux et bâtiments ainsi qu'à l'efficacité énergétique. Parmi les solutions proposées pour réduire le gaspillage, la liste suivante est digne de mention, elle qui concerne l'implantation ou la modification de politiques publiques :

1. La fin du règlement du plus bas soumissionnaire;
2. L'inclusion de critères d'économie circulaire dans les contrats publics;
3. Les incitatifs financiers pour encourager l'utilisation de matériaux recyclés;
4. L'assujettissement de la rénovation à la *Loi R-20 (Loi sur les relations du travail, la formation professionnelle et la gestion de la main-d'œuvre dans l'industrie de la construction)* pour assurer la compétence de la main-d'œuvre exécutant les travaux;
5. Les mesures fiscales sur la quantité des déchets produits durant le chantier de construction et envoyés au lieu d'enfouissement.

En poursuivant dans la même direction que ce qui est proposé par l'US EPA, la FTQ-Construction propose de repenser les contrats en amont, soit d'y intégrer des considérations environnementales dès la commande du bâtiment. Dans la perspective d'utiliser moins de ressources, il est essentiel de sensibiliser les différentes parties prenantes aux bénéfices environnementaux de la rénovation et de remettre en question la nécessité d'une nouvelle construction, lorsque c'est possible. En ce qui concerne le choix des matériaux, l'organisme recommande de cibler de nouveaux matériaux, tant des matériaux innovants biosourcés que des matériaux locaux et renouvelables, et de miser sur la réutilisation de matériaux issus de la déconstruction. Pour les nouveaux matériaux, il est mentionné qu'« il est préférable de favoriser les matériaux naturels et légers; lorsque possible, il

faudrait remplacer l'acier, le ciment, la brique et le bois non certifié qui sont tous des matériaux de construction causant d'importantes émissions de GES. » Afin de pouvoir préserver et prolonger la durée de vie des bâtiments et infrastructures et d'ainsi réduire le nombre de ressources utilisées, il s'avère également primordial d'accroître la rénovation et l'entretien des bâtiments existants. En ce qui concerne la réutilisation des matériaux, il faut veiller à une certaine uniformité dans la qualité des matières résiduelles et à la conformité de celles-ci aux exigences des recycleurs. Il est primordial d'instaurer un tri à la source efficace et de s'assurer que les acteurs aient les formations et compétences nécessaires, tant pour cette déconstruction que pour la gestion des matières résiduelles aux différentes étapes du cycle de vie du bâtiment. En bref, il s'agit d'un plan très ambitieux, mais qui n'est pas chiffré et qui ne précise aucunement comment il sera mis en œuvre.

Enfin, Nature Québec a rédigé le *Guide pratique de mise en valeur du bois post-consommation*. Les mesures qui y sont présentées touchent les thèmes suivants : la concertation et consultation, l'analyse, la recherche et l'inventaire, l'information, la sensibilisation et l'éducation (ISE), l'administration et la réglementation, la délivrance des permis et l'implantation ainsi que la gestion des installations. Plusieurs autres mesures pertinentes comme l'introduction, dans le règlement municipal de construction, d'exigences pour favoriser l'utilisation de matériaux récupérés ou recyclés au moment des travaux de construction et rénovation peuvent être identifiées dans cette fiche (St-Laurent Samuel et al., 2017).

La planification et la gérance de chantier

Dans un bulletin de veille précédent (N° 40 – Avril 2021), l'intégration des principes de l'économie circulaire au secteur du bâtiment au moyen d'exemples de réglementation a été présentée (Drouin, 2021). À cette occasion, un rapport québécois intitulé *La réduction à la source des matériaux et résidus de construction : guide pour la planification et la gérance de chantier* a été inséré dans le bulletin. Il semble pertinent aujourd'hui de rappeler quelques informations provenant de ce rapport (Chayer et al., 2019).

Les bonnes pratiques de réduction à la source regroupées ici proviennent de publications reconnues et de l'expérience de professionnels du milieu de la construction au Québec. Elles se veulent des recommandations concrètes pour réduire les matériaux utilisés et les déchets générés dans les chantiers de construction. Certaines des pratiques s'appliquent plus particulièrement aux chantiers de rénovation et démolition. Dans le cas d'une démolition, la réduction à la source des résidus concerne davantage la planification. La déconstruction ou le démantèlement y sont alors mentionnés, afin que les matériaux réutilisables puissent être détournés de l'enfouissement pour être réutilisés et ainsi réduire à la source les matériaux nécessaires à un futur chantier de construction. Toutes les pratiques touchant l'augmentation de la récupération des matériaux pour leur valorisation sont alors applicables. La figure suivante présente, dans un ordre séquentiel de construction, les différentes pratiques :



Figure 12 : 29 bonnes pratiques pour la réduction à la source des matériaux et résidus de construction, regroupées en cinq familles, couvrant toutes les étapes d'un projet type de construction (Source : Chayer Julie-Anne et al., 2019)

Audits de prédémolition

Mentionné précédemment, le projet CIRCuIT présente lui aussi quelques stratégies innovantes (CIRCuIT 2023), en premier lieu le concept d'*Urban mining*. L'exploitation minière urbaine signifie récupérer et réutiliser les matériaux de construction des villes. Des matériaux de haute qualité peuvent en effet être extraits des bâtiments existants, si les bonnes techniques de démolition sont utilisées. Cela peut jouer un rôle clé pour aider les acteurs de l'environnement bâti à réduire leur impact sur l'environnement, leurs coûts et leurs déchets. Pour ce faire, la mise en place d'un *Predemolition audits* (PDA) est proposée.

Le PDA est une évaluation complète et systématique de la quantité et qualité des éléments et matériaux laissés sur place après la démolition d'un bâtiment. Il peut être utilisé comme outil pour identifier les éléments potentiellement réutilisables et recyclables. Lorsqu'il est réalisé avant la démolition, ces informations peuvent être introduites dans une plateforme numérique dans laquelle les professionnels peuvent sélectionner quels matériaux seront disponibles pour leurs projets à venir. Actuellement, les PDA ne sont pas obligatoires dans le processus de démolition des villes. Cela pourrait cependant être amené à changer.

Au Danemark, pour la plupart des projets, l'évaluation des déchets dangereux est déjà obligatoire, alors que la cartographie des quantités et de la qualité des matériaux dans les PDA est volontaire. La ville de Copenhague par exemple a rendu les PDA obligatoires pour ses propres projets. Des travaux sont en cours pour créer une norme nationale pour la cartographie environnementale et les PDA. Il s'agit notamment de normaliser les rapports et d'instaurer un programme de formation de base obligatoire pour que seuls les auditeurs formés puissent faire approuver leur travail. Entre-temps, la municipalité travaille à la création d'une procédure standard pour les PDA dans les bâtiments qu'elle possède, dans laquelle une plateforme numérique pourra gérer toutes les étapes et collecter les données en un seul endroit.

Toujours au sein du projet CIRCuIT, un projet pilote a permis de démontrer les avantages de la réutilisation : démonstrateurs associés # 12 – Bois lamellé-collé à partir de bois secondaire. Les autorités locales peuvent soutenir les chaînes d'approvisionnement circulaires en demandant aux équipes chargées des achats de spécifier les matériaux secondaires dans les projets publics. Cela aidera les autorités locales à atteindre leurs objectifs de réduction des émissions de carbone, tout en augmentant le marché des matériaux réutilisés ou remanufacturés. Le projet de démonstration a montré que la déconstruction de la charpente en bois faisait augmenter de 15 % les coûts de la facture de démolition, mais qu'il existe un avantage économique global pour la région si ces dépenses sont conservées dans l'économie locale. Ces dépenses aident également les nouvelles entreprises à se développer et à réduire leurs coûts, ce qui accroît la compétitivité des chaînes d'approvisionnement circulaires dans la région. Dans le démonstrateur, l'utilisation de déchets dans la fabrication du bois lamellé-collé permet de réduire de 40 % les émissions de GES par rapport à la production conventionnelle. Comprendre et communiquer ces avantages environnementaux dans les projets deviendra essentiel pour résister à la pression qui s'exerce en faveur d'un retour à l'utilisation du bois d'œuvre en mode *business as usual* (BAU).

Concevoir pour désassembler (CpD) et concevoir pour adapter (CpA)

C'est deux stratégies ont été présentées, voici maintenant une explication par l'image.

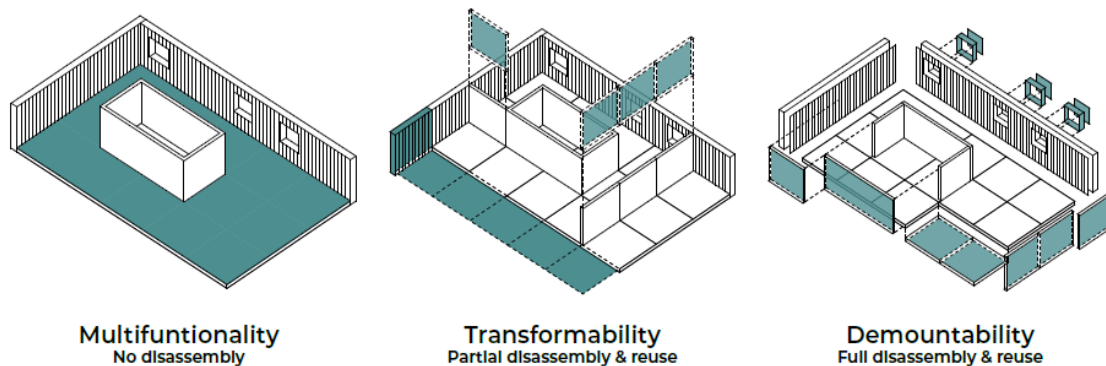


Figure 13 : Multifonctionnalité, transformabilité, démontabilité illustrées (CIRCUIT, 2023)

Afin de montrer les bénéfices de telles stratégies, les membres des villes CIRCUIT ont évalué 12 projets de démonstration. L'un de ces projets est le *Albion Street (The Hithe) – Flexible temporary building*. À Londres, de petites parcelles de terrains inutilisées ou servant à des usages temporaires sans valeur ajoutée existent. En appliquant l'approche CpD et CpA, un bâtiment abordable de deux étages a été conçu et construit avec l'intention de le désassembler et de le relocaliser après une période de dix ans, en raison du court bail avec lequel il a été construit. Pour ce faire, les architectes ont proposé des modules par panneaux structuraux isolés démontables (SIP). Le concept plus habituel est plutôt celui d'une charpente en acier avec un parement pour la pluie très classique et *low-tech*.

Parmi les résultats principaux, l'analyse économique a permis de démontrer que l'approche CpD et CpA a entraîné une augmentation des coûts de construction de 6 % par rapport au concept habituel. Toutefois, sur le cycle de vie, il s'agit d'une réduction de 23 %. Il en est de même avec l'impact carbone intrinsèque qui est de 6 % plus élevé durant la phase initiale de construction et de son usage dans la phase 1 (dix premières années). Cependant, après un redéploiement, cela devient une réduction de l'impact carbone de 30 % par rapport au concept habituel. Après un 3^e redéploiement, cela monte jusqu'à 46 %. En effet, la durée de vie de ce bâtiment démontable peut être d'au moins 30 ans.

Toujours dans ce rapport, des guides et outils ont été créés pour aider les décideurs à inclure l'approche CpD et CpA dans leur planification stratégique de développement. La forme proposée se veut une feuille de route. Enfin, pour faciliter l'adoption et la mise en œuvre de la circularité, les partenaires ont créé cinq outils en ligne.



Material Reuse Portal⁹

Ce portail rassemble la liste des surplus des matériaux de construction en provenance de plusieurs sites dans une seule et unique plateforme, rendant ainsi les recherches plus faciles.



Circularity Dashboard¹⁰

En utilisant des indicateurs de circularité, le tableau de bord permet de cerner les capacités de satisfaire l'économie circulaire d'une ville, d'une région ou d'un pays. Cela permet aussi aux professionnels d'effectuer des comparaisons.



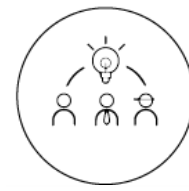
Circularity Atlas¹¹

Cet Atlas est une carte interactive qui permet aux décideurs publics et aux urbanistes de voir et d'analyser plus facilement les données de l'économie circulaire et autres données pertinentes à l'échelle de la ville.



Citizen Engagement Portal¹²

Ce site et son application en réalité augmentée montrent des projets de construction circulaire dans des bâtiments existants et ainsi rendent ces approches plus accessibles au public. Cela permet de soutenir des dialogues dans les villes autour des bénéfices à adopter dans le cadre des principes de l'économie circulaire.



Circular Economy Wiki¹³

Ce site présente des articles, guides et définitions pour la construction circulaire. Cela a pour but de s'assurer qu'il existe une compréhension commune des pratiques de la construction circulaire chez les acteurs de l'industrie de la construction.

La construction préfabriquée

La préfabrication est reconnue comme un mode de construction permettant de réduire les déchets par rapport à la construction sur site. En effet, la construction en usine présente un environnement plus propice à la récupération des chutes de bois que le chantier. En usine, ces pièces de bois peuvent être réutilisées dans la production si elles s'avèrent de dimensions suffisantes, vendues comme coproduits pour la fabrication d'autres produits du bois ou encore valorisées pour le chauffage. Leur réutilisation évite l'emploi de matières vierges. Sur le chantier, à l'inverse, il est plus complexe de récupérer les chutes de bois, dont seule une certaine quantité se rend au centre de tri (Chayer et al., 2019)

La construction modulaire hors site (CMHS) est un type de préfabrication. Par essence, il s'agit d'un sous-ensemble de la fabrication LEAN. Grâce à la standardisation des composants et processus, la CMHS peut offrir des avantages importants en termes d'environnement, de qualité et de coûts (Dillon Consulting et Oakdene Hollins, 2021). Une étude de cas de UK OMC a trouvé que 90 % des déchets pouvaient être évités grâce à des pratiques de construction rigoureuses hors site. Et 50 % des déchets ont été évités grâce à l'optimisation de la conception et la standardisation (Mtech Consult Limited, s. d.). En ce qui concerne la situation au Canada, Dillon et Oakdene estiment que 18 400 tonnes par année de déchets plastiques pourraient être évitées si toutes les constructions neuves au Canada étaient mises en chantier en utilisant la CMHS. Tous déchets confondus, 400 000

⁹<https://materialreuseportal.com>.

¹⁰<https://www.circuit-project.eu/circularity-dashboard>.

¹¹<https://www.circuit-project.eu/circularity-atlas>.

¹²<https://www.circuit-project.eu/citizen-engagement-portal>.

¹³https://www.designingbuildings.co.uk/Circular_economy_wiki.

tonnes de déchets pourraient alors être évités. Enfin, cela représente 173 000 teqCO₂. Voici un tableau qui résume les causes de la génération de déchets tout au long de la chaîne de valeur de l'industrie de la construction.

Tableau 1 : Causes des déchets de construction tout au long de la chaîne de valeur de l'industrie de la construction (Dillon Consulting et Oakdene Hollins, 2021)

Quelques explications sur les causes de déchets de construction		
Ce qui cause des déchets de construction		
Étapes de la chaîne de valeur où les déchets sont générés	Conception et spécification	<ul style="list-style-type: none"> • Erreurs dans les documents contractuels • Les documents contractuels sont incomplets au début de la construction • Changements de la conception • Erreurs dans les détails de conception et construction • Spécifications peu claires et impossibles à justifier • Mauvaise coordination et communication (information tardive, demande du client de dernière minute, révision et distribution tardives des documents) • Des conceptions sur mesure qui ne permettent pas un certain niveau de standardisation
	Approvisionnement / matières premières	<ul style="list-style-type: none"> • Erreurs de commande • Trop de matériaux commandés • Erreurs des fournisseurs • Entreposage sur le site inapproprié menant à des dommages et à de la détérioration • Matériaux entreposés loin du point d'utilisation • Déchets liés à l'emballage • Dommage des matériaux durant le transport et déchargement • Utilisation unique de matériaux neufs
	Production	<ul style="list-style-type: none"> • Manque de plans de gestion des matières résiduelles sur le site • Manque de contrôle des matériaux sur le site • Manque de supervision • Accidents dus à de la négligence • Matériaux et produits inutilisés • Mauvais états des équipements • Mauvaise qualité de fabrication • Utilisation de mauvais matériaux menant à leur disposition • La pression de terminer rapidement
	Distribution et vente	<ul style="list-style-type: none"> • La vente uniquement de quantités précoupées et préformées de matériaux et leur dimension
	Gestion de la demande et de l'utilisation	<ul style="list-style-type: none"> • Les bâtiments ne sont pas conçus pour être réaménagés ou améliorés
	Récupération et prolongation	<ul style="list-style-type: none"> • Démolition et disposition des matériaux durant la rénovation • Démolition et disposition des matériaux à la fin de vie / utilisation des bâtiments

Installation de la station de recyclage

En installant une station de recyclage avec des indications précises sur chacun des sites ainsi qu'en désignant un « leader recycleur », l'organisation responsable de la déconstruction/démolition peut réduire les coûts et diminuer de plus de 50 % les déchets de CRD (Synergy Foundation, 2022). D'ailleurs, un projet de recherche de l'Université de la Colombie-Britannique s'est penché sur le sujet (Figure 14). Les chercheurs ont conclu que l'emplacement du bac de recyclage sur le site de construction peut permettre d'augmenter le recyclage et le compostage allant jusqu'à 141 % :

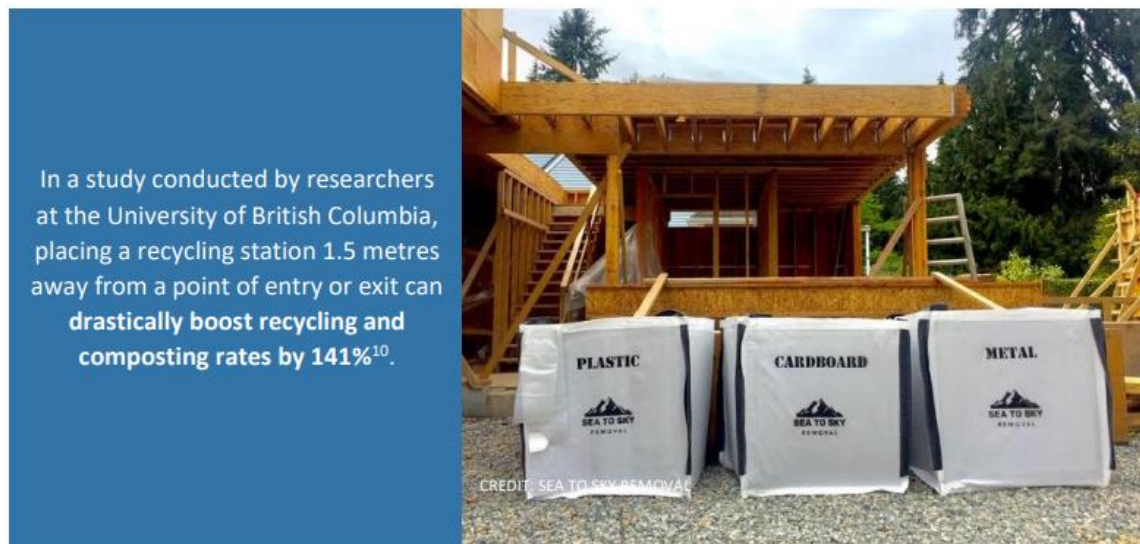


Figure 14 : Station de recyclage au point de passage d'un chantier de construction (Synergy Foundation, 2022)

Au Québec, un projet de tri à la source a été réalisé, afin de démontrer qu'il permet de détourner davantage de résidus de CRD des sites d'enfouissement (Joncas, 2023) que les autres formes de tri. Ce sont 14 entreprises qui ont pris part à l'initiative. Au total, les chercheurs ont analysé 29 chantiers, dont la grande majorité érigeait des constructions neuves, c'est-à-dire 25 d'entre eux, par rapport à 3 de déconstruction et un projet particulier dont les conteneurs servaient pour des projets variés de CRD sur le site de l'entreprise. De manière à faciliter le tri, tout en s'assurant que les matériaux récupérés répondraient aux attentes des récupérateurs, l'équipe a créé des affiches pour chacune des matières triées à la source. Chaque matière était associée à une couleur particulière et sur chaque affiche avait été indiqué les matériaux acceptés et ceux refusés. Ces affiches étaient munies d'aimants et pouvaient être placées facilement sur chaque compartiment à l'arrivée du conteneur. L'idée consistait à offrir une flexibilité aux travailleurs quant à l'utilisation des bacs de tri selon la nature des travaux en cours. L'ensemble des affiches conçues et utilisées pour le projet peut à cet égard être observé ci-dessous.

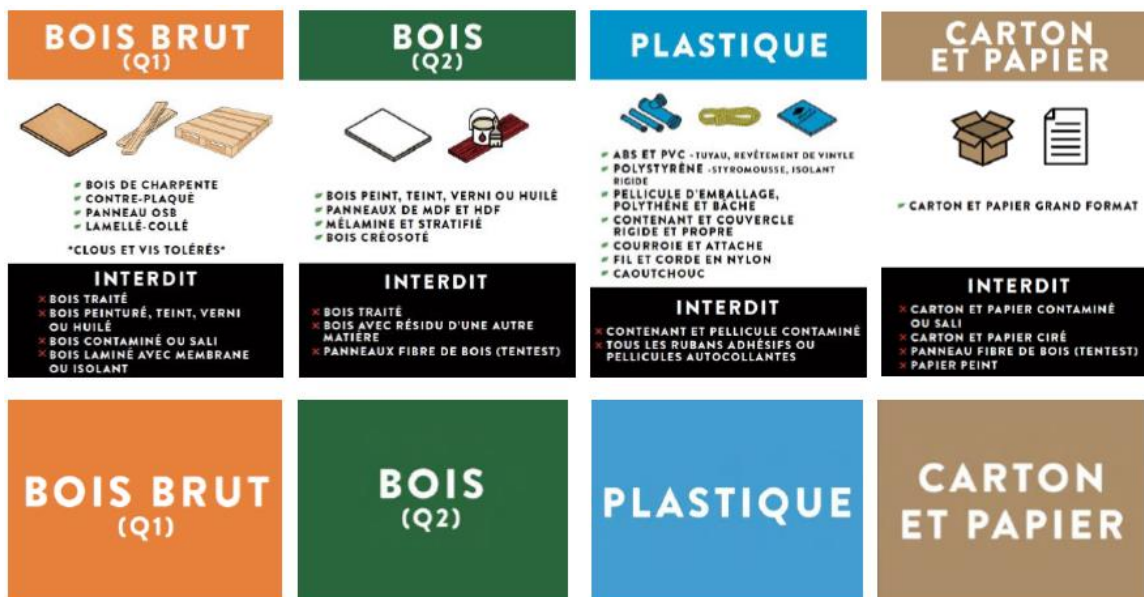


Figure 15 : Exemple d'affiche pour faciliter le tri des déchets de CRD (Joncas, 2023)

L'analyse des données quantitatives a permis de constater qu'il est possible d'atteindre l'objectif fixé par la *Politique québécoise de gestion des matières résiduelles* (PQGMR) de détourner 70 % des résidus d'un bâtiment de l'enfouissement, en effectuant le tri à la source des résidus de construction. En fait, la majorité des entreprises participantes ont réussi à détourner 80 % ou plus des résidus générés par leur chantier.

Toujours en lien avec le recyclage, en 2019, un projet pilote de tri à la source du gypse a documenté et a testé des méthodes permettant d'optimiser le tri à la source du gypse sur les chantiers de CRD (Chamard stratégies environnementales, 2019). Cette démarche a été amorcée à la suite des recommandations de l'étude sur la valorisation des résidus de criblage fin des centres de tri de CRD, réalisée pour le compte du Regroupement des récupérateurs et des recycleurs de matériaux de construction et de démolition du Québec (3R MCDQ) par le Centre de transfert technologique en écologie industrielle (CTTEI) et Chamard. Cette étude recommandait d'extraire le gypse des arrivages de débris de CRD dans les CDT afin d'en faciliter le tri, de réduire la production et de faciliter la valorisation des résidus de criblage fins, ainsi que de mieux valoriser le gypse et ses composantes.

Le concept de point de dépôt à l'écocentre pour cette matière triée à la source a également été testé. Avec des équipements adaptés au type de chantier et une bonne planification, l'ensemble des entrepreneurs participants aux chantiers pilotes ont obtenu des taux de présence du gypse dans les conteneurs de débris de CRD de moins de 10 %. Dans le cadre du projet, tous les équipements à l'essai ont démontré de belles possibilités. Toutefois, la durabâche est celle qui a suscité le plus d'intérêt de la part des entrepreneurs en raison de sa versatilité. Cette bâche peut être installée dans n'importe quel conteneur transroulier, peu importe le format. Elle permet une séparation ajustable, selon les besoins de l'entrepreneur, dans le conteneur de débris mixte de CRD. Les caractéristiques techniques de la durabâche sont présentées dans la figure qui suit.

Nom	<i>Durabâche</i>	
Description	Toile robuste avec attaches renforcées	
Matériel	Polypropylène	
Concept	Installation dans n'importe quel conteneur transroulier pour une séparation amovible	
Destination	Même destination que les autres débris de CRD	
Usages	Multiple, pour n'importe quel débris de CRD à séparer à la source	
Forces	<ul style="list-style-type: none"> • Pliable et amovible • Résistant (réutilisation multiple, durée de vie à déterminer) • Lavable • Facile d'utilisation et d'installation • Solution intéressante si manque d'espace pour un autre conteneur • Permet l'utilisation de chute à déchets dédiée 	
Faiblesses	<ul style="list-style-type: none"> • Séparation non étanche dans le conteneur • Se salit rapidement (poudre de gypse notamment) • Perte potentielle de la toile et des attaches 	

Figure 16 : Caractéristiques de la durabâche (Chamard stratégies environnementales, 2019)

Initiatives publiques

En Europe, certains leviers réglementaires existent comme l'imposition de minima de matériaux recyclés et de matériaux de réemploi dans les marchés publics ou encore l'obligation de réaliser un diagnostic PEMD, pour « Produits – Équipements – Matériaux – Déchets », avant une opération de démolition ou rénovation. Voici maintenant une liste d'initiatives publiques qui pourraient servir d'inspiration pour le Québec.

Île et Ville de Vancouver : Vancouver considère les pratiques de déconstruction comme faisant partie intégrante de son plan d'action (*Greenest City 2020 Action Plan*), avec l'intention de devenir la « Ville la plus verte » au monde d'ici 2020. Le développement d'un programme de déconstruction de bâtiments se situe au cœur de ses priorités d'action afin de détourner le bois et autres matériaux des sites d'enfouissement et de l'incinération (St-Laurent Samuel et al., 2017). La ville vise également à promouvoir la réutilisation des matériaux et à créer des emplois « verts » liés au secteur de la gestion responsable des matières résiduelles. Cette approche se veut une alternative à la démolition. Pour ce faire, la Ville de Vancouver a élaboré un processus de demande de permis impliquant des exigences particulières en termes de déconstruction.

Les municipalités de l'agglomération de Vancouver ont chacune leur propre ensemble de règlements et procédures régissant les activités de construction et démolition, y compris des exigences en matière de récupération et recyclage. Certaines municipalités ont mis en place des mesures réglementaires pour encourager le recyclage et la réutilisation des matériaux de construction. Dans le site de la municipalité¹⁴, il est facile de constater en un clic quels sont les

¹⁴ <https://metrovancouver.org/services/solid-waste/construction-demolition-waste>.

objectifs et procédures à suivre en fonction de la municipalité. Voici, par exemple, une capture d'écran qui montre la situation pour la Ville de Vancouver.

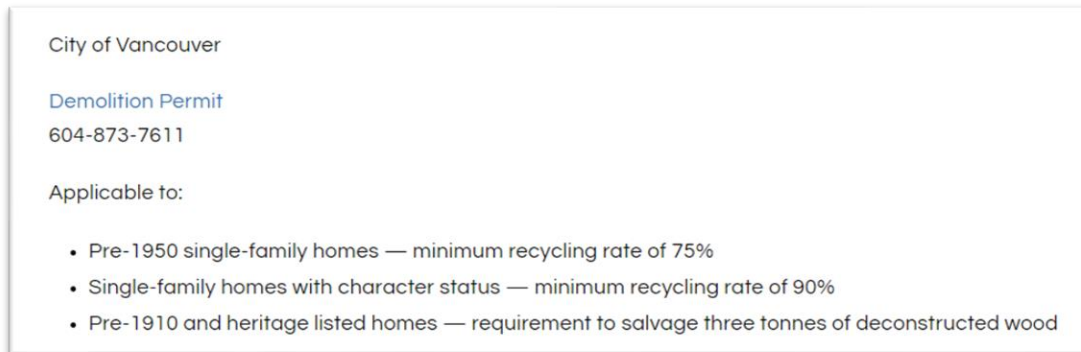


Figure 17 : Capture d'écran du site de la région de Vancouver, volet construction et démolition.

Un lien hypertexte permet d'accéder directement au permis de démolition.

District régional de Nanaimo : Le *Solid waste management plan 2020* a établi une cible de diversion des déchets destinés à l'enfouissement à 90 % d'ici 2030. Pour atteindre cette cible, le district a formulé sa stratégie *zéro déchet* dans des règlements à jour. La *Mandatory waste source separation* exige que tout bâtiment commercial, institutionnel et multi-résidentiel classe ses déchets en trois catégories (déchets, recyclables, matières organiques). La licence *Waste Hauler* octroyée par un règlement encourage désormais les industries à prendre part à la diversion des déchets en rendant cela plus profitable pour elles.

Seattle, USA : La Ville de Seattle exige des entrepreneurs, qui font la demande d'un permis de déconstruction résidentielle (St-Laurent Samuel et al., 2017), les obligations suivantes :

- La réutilisation d'au moins 20 % des matériaux de construction (poids), excluant l'asphalte, la brique et le béton;
- Le recyclage ou la réutilisation d'au moins 50 % des matériaux de construction (poids), excluant l'asphalte, la brique et le béton;
- Le recyclage ou la réutilisation de 100 % de l'asphalte, de la brique et du béton;
- La soumission d'un plan de détournement des déchets lors de la demande de permis;
- La soumission d'un rapport de détournement des déchets identifiant le taux de récupération et recyclage des matériaux une fois la déconstruction terminée.

Europe : Le document de l'Union européenne (UE) intitulé *Circular Economy Action Plan* énonce 54 mesures concernant les déchets, les rejets, la réutilisation et le recyclage, avec des objectifs finaux établis pour 2030 et 2035. Ainsi, trois mesures sont dénombrées qui concernent directement le secteur de la construction et des bâtiments (WBCSD 2020) :

1. Utiliser le cadre de durabilité de l'UE qui permet d'intégrer l'analyse du cycle de vie dans les approvisionnements publics ainsi que le cadre de durabilité financière de l'UE;

2. Explorer la pertinence de se doter de cibles de réduction de GES et le potentiel de stockage du carbone;
3. Revoir les cibles en matière de récupération des matériaux de construction.

Cela devait entraîner la révision de documents législatifs, notamment de la *Construction Product Regulation* (RPC) et de la *Strategy for a sustainable built environment by 2021*. Le 30 mars 2022, la Commission a présenté une proposition de révision de la RPC. Cette proposition fait partie d'un paquet comprenant plusieurs autres propositions sectorielles visant à faire des produits durables la norme dans l'UE et à promouvoir les modèles d'entreprises circulaires. Les objectifs déclarés de la proposition sont d'améliorer le fonctionnement du marché intérieur des produits de construction, de résoudre les mises en œuvre qui subsistent au niveau national (en particulier en ce qui concerne la surveillance du marché), de simplifier le cadre juridique et de soutenir la transition verte et numérique dans le secteur. Le 13 décembre 2023, le parlement et le conseil sont parvenus à un accord provisoire sur la proposition. Le parlement devrait voter sur le texte convenu, qui nécessite une adoption formelle par les deux institutions lors de sa session plénière d'avril 2024 (European Parliament 2024).

San Francisco, USA : La Ville de San Francisco exige un taux minimum de 65 % de détournement des débris de construction et démolition des décharges (Hanson, s. d.). Toute personne, entreprise ou société souhaitant démolir une structure est tenue de soumettre un plan répertoriant les matériaux devant faire partie de la démolition et 75 % de ces matériaux ne doivent pas être acheminés vers une décharge (City and County of San Francisco, 2024). Le non-respect de l'ordonnance peut entraîner la suspension des licences et permis nécessaires à l'exploitation des installations ainsi que des machines liées à l'industrie de la démolition et destruction. La ville peut également imposer des amendes pouvant s'élever jusqu'à 1 000 dollars par jour pour la non-conformité. L'application du code est assurée par le directeur du *Code de l'environnement* de la ville, qui peut inspecter toute propriété enregistrée pour la démolition, afin de s'assurer que le taux de détournement est respecté. La ville prévoit également d'augmenter le pourcentage de détournement au cours des prochaines années afin d'atteindre l'objectif de *zéro déchet*.

Austin, USA : Pour certains bâtiments (décrits au § 25-11-39), Austin fixe :

1. Un poids maximum de déchets par pied carré pouvant être éliminés;
2. Un taux minimum de 50 % de détournement total des déchets des décharges.

Austin réduira le poids maximum des déchets par pied carré de 2,5 livres à 0,5 livre d'ici 2030 (Hanson, s. d.). Sous réserve de l'approbation ultérieure du Conseil, la ville a également codifié une augmentation du pourcentage de déchets à détourner des décharges : de 50 %, il passera à 75 % d'ici 2020 et à 95 % d'ici 2030 (City of Austin, 2014). Il s'agit du taux minimum de détournement des matériaux générés par la construction et démolition. Le non-respect du code constitue un délit de classe C et peut être sanctionné par des amendes. Le taux de détournement est déterminé par le Service local de récupération des ressources et les matériaux peuvent être confiés à un transformateur qualifié pour répondre aux exigences. Le transformateur pèse les matériaux et détermine si le taux de détournement est respecté. Les transformateurs doivent présenter des rapports au ministère pour s'assurer que le taux de détournement actuel est respecté. Des dérogations peuvent être demandées et accordées avec l'approbation du directeur du Département de la valorisation des ressources.

Autres villes des USA : Toujours dans l'article de Brandon, d'autres villes sont mentionnées avec des actions semblables (Hanson, s. d.). Par exemple :

- Portland, OR, City Code § 17.106 (2016) : Mise en place d'exigences pour la déconstruction des bâtiments selon le type, rendant la réutilisation des matériaux plus facile;
- Orange County, NC, Code of Ordinances § 34.73 (2002) : Spécification des types de matériaux à recycler et détermination des documents à fournir durant la démolition;
- Northbrook, IL, Code of Ordinances §§ 6.241-6.251 (2008) : Cible de diversion des débris de construction et démolition des centres d'enfouissement de 75 %;
- Arroyo Grande, CA, Code of Ordinances § 8.32.200 (2017) : Exige la déconstruction ou la récupération dans la mesure du possible, avant de suivre le plan de recyclage obligatoire;
- Minneapolis, MN, Code of Ordinances § 527.260 (2018) : Les pratiques de construction durable, y compris des plans de déconstruction, constituent une considération primordiale pour l'approbation de la démolition.

France : Un décret publié en mars 2021 a rendu effective l'obligation des pouvoirs publics de respecter des minima de matériaux recyclés et de matériaux de réemploi dans leurs marchés publics (Rotor ASBL et Sixième continent, 2022). Pour le réemploi, les minima tournent autour de 4 %, et le calcul s'effectue sur l'ensemble des dépenses annuelles de l'administration et non par marché. Les matériaux de construction ne sont pas encore concernés, mais cela s'applique déjà à l'achat de mobiliers et d'installations temporaires de chantier.

Cf. Décret n° 2021 - 254 du 9 mars 2021

Toujours en France, la *Loi AGECE 2020* (Anti-Gaspillage pour une économie circulaire) apporte de nouvelles mesures prévues à compter de l'année 2022, notamment :

- Le diagnostic PEMD qui vise, avant toute opération de démolition ou réhabilitation significative de bâtiments, à anticiper et améliorer la gestion des ressources présentes dans ces bâtiments dans le but de renforcer les pratiques de déconstruction sélective, le recours au réemploi et le développement du recyclage des différents flux de déchets. Un formulaire de récolement est établi à l'issue des chantiers, permettant de connaître les destinations et l'utilisation/traitement des PEMD. Il est considéré qu'une réhabilitation est jugée significative quand son coût prévisionnel total est supérieur à 25 % de la valeur vénale du bâtiment. L'obligation de diagnostic PEMD n'est obligatoire que pour les opérations de démolition/réhabilitation:
 - a) Qui portent sur plus de 1 000 m² de surface de plancher (au sein d'un même marché de travaux);
 - b) Qui portent sur des bâtiments ayant été engagés dans un processus de commercialisation de substances dangereuses.

Cf. Décrets 2021-821 et 2021-822 du 25 juin 2021

- La filière à Responsabilité élargie du producteur (REP), appliquée aux produits et matériaux de construction du secteur du bâtiment, dite REP PMCB : Elle comporte la prise en charge par les producteurs (par les fabricants, industriels, etc.) de la gestion de la fin de vie de

leurs produits et matériaux, mais également exige de travailler et d'améliorer l'ensemble du cycle de vie de ces derniers en favorisant l'éco-conception et le développement des pratiques de réemploi et réutilisation. Un objectif quantitatif de réemploi-réutilisation doit être fixé dans le cahier des charges d'agrément des éco-organismes de cette filière avec un minimum à atteindre d'ici la fin de la période d'agrément de six ans.

Cf. Décret 2021-1941 du 31 décembre 2021

Enfin, à travers la réforme du *Code de la construction*, le dispositif ESSOC 2 sera modifié de telle manière que les matériaux et techniques « non courantes » ne soient plus pénalisés à cause de difficultés à répondre à des normes édictées pour les matériaux industriels. ESSOC 2 autorise désormais les maîtres d'ouvrage à satisfaire à leurs obligations par les moyens qu'ils souhaitent, à condition de prouver qu'ils atteindront les objectifs attendus. Cela supprime l'obligation de certification de certains matériaux (par exemple, pour les normes concernant les incendies) et procure un cadre juridique plus clair concernant les questions d'assurances.

Cf. Ordonnance n° 2020-71 du 29 janvier 2020 et Décret n° 2021-872 du 30 juin 2021

Pays-Bas : Le gouvernement néerlandais s'est fixé pour objectif de parvenir à une économie entièrement circulaire d'ici 2050 (Haigh et al., 2021 ; Dutch government, 2024). Les gouvernements, l'industrie et les organisations de la société civile ont uni leurs forces pour accélérer la transition vers une économie circulaire. Toutes les actions menées par ces partenaires sont rassemblées dans le programme de mise en œuvre de l'économie circulaire. Ce programme donne une vue d'ensemble des développements de l'économie circulaire et des nouvelles activités qui sont lancées et rend compte de l'avancement des activités qui étaient déjà en cours. Dans le cadre de ce programme, des efforts sont déployés à travers cinq agendas de transition, dix thèmes transversaux et au niveau régional, avec des projets qui apportent une expérience et des leçons précieuses pour la politique du gouvernement central et avec la meilleure combinaison d'instruments. Un agenda porte spécifiquement sur le secteur de la construction (Dutch government 2018).

Québec : Le Gouvernement du Québec s'est doté d'une feuille de route en économie circulaire. Bien qu'elle ne comporte aucune mesure coercitive ou modification de lois ou règlement, elle propose les trois mesures pour le secteur de la construction qui suivent.

OBJECTIF 9 – PROPULSER LES PRATIQUES DE RÉCUPÉRATION ET DE MISE EN VALEUR DES RÉSIDUS DE CRD

Le tri des rejets ne fait pas partie des tâches traditionnelles des différents corps de métiers présents sur les chantiers. En 2021, 1 666 000 tonnes de résidus de CRD n'ont pas transité par un centre de tri et ont été acheminées directement à l'élimination, soit une hausse de 12 % par rapport à 2018. Les pratiques de déconstruction sont peu répandues, et les acteurs qui prennent part à cette démarche doivent assumer des coûts opérationnels importants. **Les centres de tri de résidus de CRD ont envoyé 650 000 tonnes de rejets vers un lieu d'élimination en 2021, une hausse de 32 % par rapport aux 492 000 tonnes de 2018 (25).** Une gestion optimale des résidus de CRD passe par des filières viables et coordonnées de récupération, de tri et de réemploi de ces matériaux. La circularité du secteur se heurte toutefois à l'absence d'un marché ou de débouchés pour les matières récupérées. Également, l'accès aux centres de tri et aux récupérateurs de matériaux est limité, particulièrement en régions éloignées où les grandes distances de transport à parcourir réduisent les bénéfices économiques et environnementaux de la déconstruction. Un soutien financier sera nécessaire afin d'accompagner les acteurs dans cette transition.

MESURES :

- 9.1. Former les parties prenantes à la déconstruction des infrastructures.
- 9.2. Soutenir les filières permettant le tri et la récupération des matériaux.
- 9.3. Soutenir les marchés permettant la commercialisation des produits de construction issus du reconditionnement et de la réutilisation (y compris les produits issus de la déconstruction).



Figure 18 : Objectif 9 de la feuille de route gouvernementale en économie circulaire du Gouvernement du Québec. (MELCCFP, 2024)

Si ces mesures sont mises en place, il est possible de penser que la réutilisation des matériaux de construction ainsi que la récupération seront améliorées à l'avenir.

Avancées technologiques

Le procédé conçu et breveté par SANEXEN permet de séparer les matériaux fins provenant des centres de tri en trois catégories distinctes :

- Ultra-fins (conditionnés à des fins de biotraitement et compostage);
- Bois, papier et carton (destinés à la valorisation énergétique);
- Agrégats (destinés à créer des routes de chantier).

L'usine permet de traiter à grande échelle jusqu'à 150 000 tonnes métriques par année (Bois Laurentides, 2023).

Dans plusieurs cas, lors d'un chantier de démolition, les briques finissent au site d'enfouissement ou sont recyclées en agrégats. Réutiliser 100 % des briques dans un chantier est pourtant loin de constituer une utopie, car la solution existe. Elle a été inventée au Québec en 2021 par Maçonnerie Gratton et fait épargner temps et argent. La machine peut être montée dans les échafaudages et permet de déconstruire un mur, de récupérer les briques, de les nettoyer et de reconstruire le mur, et ce, même dans des rues exiguës avec l'aide de quatre employés plutôt que cinq (Dubé 2022). La figure suivante présente cette machine.



Figure 19 : Machine Brique Recyc (Source et crédit photo : La Presse et Robert Skinner).

Selon les calculs de Maçonnerie Gratton, en utilisant 30 machines 200 jours par année, le Québec pourrait nettoyer 4,8 millions de briques par année. Ce qui ferait baisser le bilan carbone pour le bâtiment de 185 000 teqCO₂ annuellement.

Waste Robotics est une entreprise québécoise qui s'est spécialisée dans la création de machines facilitant le tri des matières dans un centre de tri (Waste Robotics, 2024). Leur technologie repose sur quatre grands piliers : l'hyperspectral, les multiples capteurs, un préhenseur d'intelligence artificielle (IA) et un robot. Grâce à la détection des signatures spectrales uniques, une

identification détaillée des matériaux facilite un tri et une séparation précise pour une meilleure efficacité du recyclage. Un modèle multi-capteurs peut reconnaître avec précision la taille et la forme, puis fournir des informations détaillées sur la composition et les caractéristiques des matériaux. Le préhenseur IA permet aux robots de manipuler un large éventail d'objets de formes, de tailles et de textures différentes, ce qui les rend très adaptables à différentes tâches et à différents matériaux. Enfin, le bras robotisé Fuji Automatic NUMerical Control (FANUC) incarne la fiabilité et précision, offrant des capacités d'automatisation polyvalentes pour les industries. L'assemblage de ces quatre piliers permet un tri très efficace des matériaux de CRD.

Building as a material banks

Building as a material banks (BAMB) est un projet qui regroupe 15 partenaires issus de sept pays européens. Ils ont travaillé ensemble pendant plusieurs années à une mission : permettre un changement systémique dans le secteur des bâtiments en créant des solutions de circularité. Ce projet a mené à plusieurs publications, dont il serait impossible de résumer l'ensemble. Toutefois, quelques-unes parmi les plus pertinentes seront présentées dans cette section.

Le premier document a mené au livrable D14 et s'intitule *Testing BAMB results through prototyping and pilot projects* (Capelle et al., 2019). Les projets pilotes investiguent et démontrent que de nouvelles approches en matière de conception peuvent rendre le bâtiment plus flexible durant sa durée de vie. Plus précisément, l'objectif du rapport consiste à donner un aperçu des principaux résultats issus de ces projets :

1. Green Transformable Building Lab (GTB Lab);
2. Reversible Experience Modules (REM);
3. Circular Retrofit Lab (CRL);
4. Build Reversible in Conception (BRIC).

Le document est structuré en sept chapitres (134 pages). Dans le premier chapitre, les quatre projets pilotes sont présentés. Dans le chapitre 2, l'équipe de BAMB a testé le protocole de conception réversible. Le chapitre 3 établit un lien avec la *Materials Passports platform*. Le chapitre 4 propose une analyse environnementale quantitative des pilotes (réduction des déchets, des émissions de CO₂, etc.). Le chapitre 5 prend en considération les aspects financiers et comment les opportunités et la rentabilité à long terme peuvent être améliorées durant la durée de vie d'un bâtiment. Le chapitre 6 fournit un aperçu des parties prenantes et de leurs contributions à chacun des projets. Enfin, le chapitre 7, *Policies and Standards*, met en lumière les barrières rencontrées dans les différentes étapes de chaque projet. S'appuyant sur cette analyse, des priorités en matière de politiques publiques sont mises de l'avant.

GTB Lab : Réalisé dans le cadre du Centre d'innovation GTB pour la construction circulaire à Heerlen, le GTM Lab est un projet d'envergure européenne. Il a été créé autour d'un cadre multifonctionnel réversible en acier, complété par des éléments de plancher, de façade et de toiture indépendants, échangeables, normalisés et réversibles. Afin d'assurer l'indépendance et l'interchangeabilité des éléments de construction, le projet pilote s'est concentré sur la

réversibilité des interfaces entre les différents éléments de construction, sur la normalisation des connexions ainsi que sur les dimensions des éléments échangeables.



GTB Lab

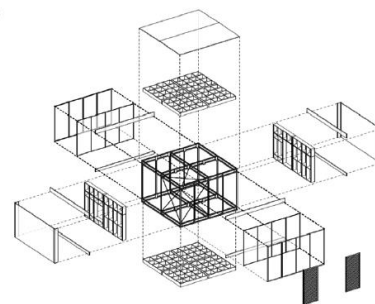


Figure 20 : Aperçu du projet GTM Lab (Capelle et al., 2019).

REM : Les modules REM forment une exposition interactive itinérante sur un bâtiment circulaire, qui présente 70 produits et systèmes conçus pour la réutilisation, la récupération et le recyclage. Chaque matériau et produit de l'exposition REM est disponible sur le marché et étiqueté avec un passeport des matériaux. Les visiteurs de l'exposition peuvent manipuler les matériaux et accéder directement aux données en ligne du passeport des matériaux en scannant le code QR du produit avec leur téléphone. Grâce à une interaction continue avec le public, l'équipe a testé la compréhension des passeports en tant que source de données interchangeable et précieuses à utiliser au cours des différentes phases de la construction et par différents acteurs.



REMs

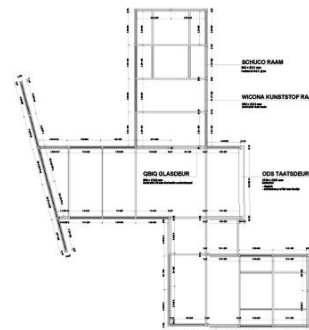


Figure 21 : Aperçu du projet REM (Capelle et al., 2019).

CRL : Le projet pilote a testé et mis en œuvre différents scénarios pour la réutilisation et rénovation des logements préfabriqués du campus de la *Vrije Universiteit Brussel* datant des années 1970, sans générer une grande quantité de déchets. Des stratégies ont été explorées pour les transformations internes et externes ainsi que pour les multiples reconfigurations fonctionnelles du module.

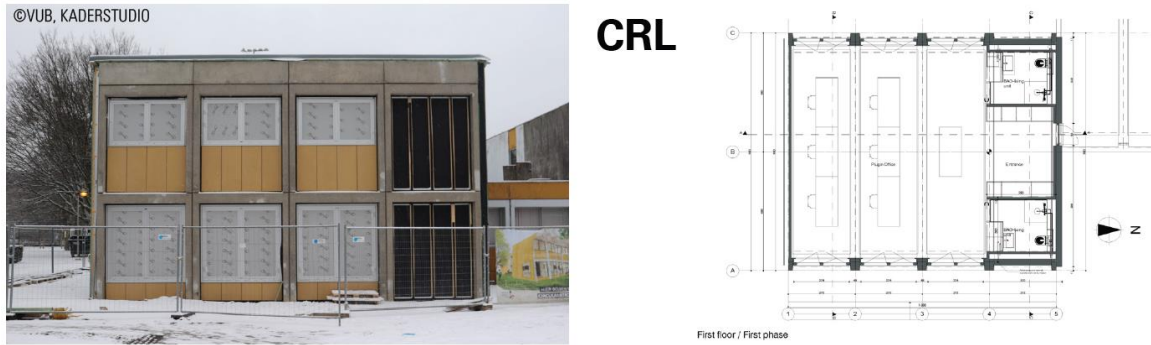


Figure 22 : Aperçu du projet CRL (Capelle et al., 2019).

BRIC : Entièrement construit par de jeunes stagiaires, le bâtiment BRIC est une construction durable, évolutive et réversible. BRIC est assemblé et désassemblé annuellement. Chaque transformation s'accompagne d'un changement de fonction : d'un bureau (2018) à un magasin (2019), puis à un laboratoire acoustique (2020). La première construction mise en place en 2018 (BRIC 1) a permis de tester la capacité d'une construction en bois à intégrer des matériaux recyclés, en appliquant des solutions réversibles minimisant les déchets lors des transformations.



Figure 23 : Aperçu du projet BRIC (Capelle et al., 2019).

Dans le chapitre 4, les auteurs présentent un cadre théorique favorisant la réversibilité dans la construction des bâtiments. Ensuite, est expliqué pour chaque pilote, comment cela se traduit au moyen d'exemples concrets d'accomplissement. Par exemple, la notion de dépendance est abordée. La minimisation du nombre de relations entre les articles d'un bâtiment et les dépendances techniques rendra le bâtiment plus adapté à la réutilisation ou à une transformation. Ensuite, la notion d'interchangeabilité est abordée. Encore une fois, en appliquant ces principes, la circularité sera rendue plus facile. Voici une image pour illustrer le concept.

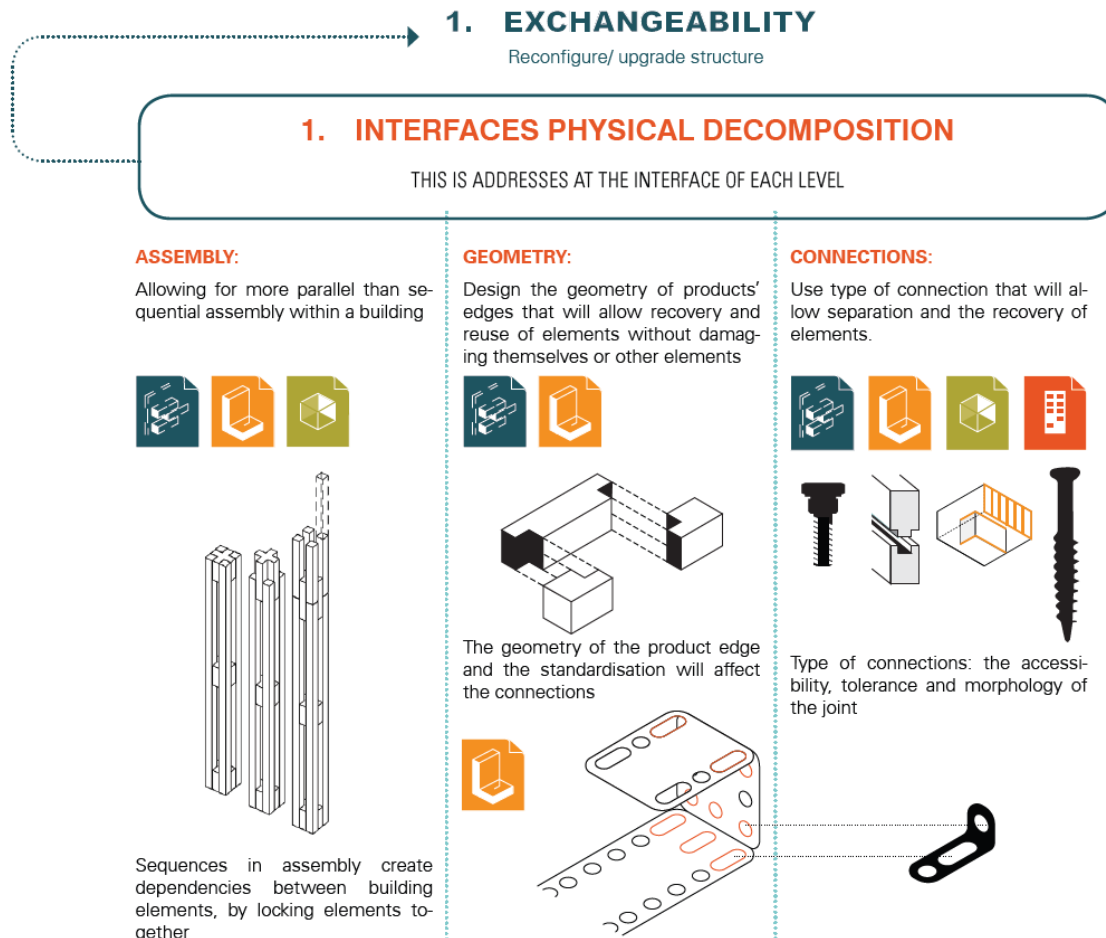


Figure 24 : Explication du concept d'interchangeabilité (Capelle et al., 2019).

La suite du chapitre est très riche en photos et descriptions détaillées des concepts ayant été testés lors de ces projets pilotes. Il serait difficile ici de la résumer, la consultation du document s'avérant beaucoup plus pertinente pour les lecteurs qui désireraient en savoir davantage.

Toujours en rapport avec le projet BAMB, un autre document d'intérêt est le *D7 Operational materials passports* (L. Luscuere et al., 2019). Il décrit comment plus de 300 passeports de matériaux ont été placés dans la plateforme de passeports de matériaux (MPP). Ils ont été générés en utilisant la collection des données ainsi qu'en les important à partir d'autres bases de données.

Le passeport d'un matériau est un ensemble de données décrivant le produit, un peu comme dans une fiche nutritive. Les données sont spécifiques au produit et à son fabricant et leur confèrent une valeur pour la récupération et réutilisation. Le passeport est un mécanisme visant à encourager la qualité, valeur et sécurité liées à l'approvisionnement, de manière à rendre circulaire son utilisation (L. M. Luscuere, 2017). S'y trouve, par exemple, le nom, la description, la complexité du produit, sa déclaration environnementale, sa notice de sécurité, un certificat, de l'information concernant sa toxicité et des renseignements sur la provenance de sources renouvelables. Toutes ces informations permettent aux concepteurs de prendre des décisions plus éclairées lorsqu'ils souhaitent augmenter la circularité d'un bâtiment. Les auteurs ont noté à cet égard qu'il existe une

demande croissante dans le marché pour de la consistance et transparence en ce qui concerne la qualité des matériaux permettant la construction de fondations solides pour un bâtiment sain et sécuritaire. Les membres de l'initiative BAMB ont été des utilisateurs importants de la plateforme. Pour des explications visuelles, il est possible de consulter la série de vidéos qui suit.

<https://vimeo.com/238909741>; <https://vimeo.com/30727929>.

Le passeport des matériaux est donc un outil actif de suivi de la valeur destiné à être utilisé pour apporter une valeur résiduelle sur le marché. Les actions menées à chaque étape, de la production à l'achat ainsi que de l'utilisation à la maintenance, ont un impact sur les produits et systèmes et sur leur potentiel de récupération de valeur. Les passeports de matériaux mettent à disposition des informations relatives à toutes ces étapes. Ils ont le potentiel de stimuler l'innovation, par exemple, en fournissant des conseils sur la conception des produits ou en permettant aux fabricants de communiquer de manière transparente sur la valeur circulaire de leurs produits.

Le dernier document en rapport avec le projet BAMB qui sera présenté dans ce bulletin est le *Framework for policies, regulations and standards* (Sharp et al., 2019). Les auteurs ont étudié les impacts des politiques, standards et législations actuelles sur l'implantation des principes de circularité dans le secteur des bâtiments. Les recherches se sont concentrées sur les politiques européennes, tant au niveau national que supranational, voire local. D'abord, un état des lieux a été effectué, pour ensuite réaliser une analyse d'impact de cinq politiques et règlements afin de mieux comprendre les facteurs de succès et barrières pour le déploiement des principes de circularité :

1. Le *Swedish Environmental Objectives* (1999, 2009);
2. Le site *Waste Management Plan Regulations* (2008) en Angleterre;
3. Le programme d'économie circulaire adopté dans la région de Bruxelles en Belgique;
4. Tracimat (2018) : un système d'inventaire de démolition pour certifier la qualité des déchets de construction et démolition dans la région flamande de la Belgique;
5. La politique d'incorporation de 5 % des matériaux recyclés (2011) dans la construction des bâtiments publics au Portugal.

Ensuite, une revue des meilleures pratiques pour apporter un changement systémique a été réalisée. Pour ce faire, l'étude s'est intéressée à l'*Act for the Promotion of Long Life Quality Housing* (2009) au Japon, à *Be.Circular* (PREC), dans la région de Bruxelles et au *Public procurement Rules of the Rijkswaterstaat* aux Pays-Bas.

En conclusion, les auteurs rappellent que la réglementation peut ériger des barrières, tout comme elle peut se porter en appui à la circularité. Par exemple, mettre l'accent sur l'efficacité énergétique peut mener à des solutions qui sont défavorables au processus de déconstruction. Notamment, si la création d'une connexion étanche à l'air est recherchée entre des éléments de construction pour améliorer l'efficacité énergétique, il est possible d'utiliser des matériaux de connexion rendant difficiles la déconstruction et réutilisation des parties. La fragmentation des réglementations à travers les différentes zones géographiques et à divers niveaux peut également constituer une barrière. Il semblerait toutefois que les législations actuelles autour du rendement énergétique, de la gestion des déchets et de la régulation des produits de construction forment des atouts pour l'inclusion des passeports de matériaux et des principes de réversibilité dans le bâtiment. L'étude

Public procurement Rules of the Rijkwaterstaat a permis de constater que l'exemplarité de l'État est une stratégie intéressante pour stimuler le développement de solutions s'intéressant aussi aux impacts sociaux et environnementaux plutôt que strictement financiers. Le programme PREC en Belgique a, quant à lui, stimulé l'engagement des parties prenantes en leur permettant de développer leurs propres cibles.

Enfin, il est constaté que l'*Energy Efficiency Directive* (au niveau européen) a constitué une occasion d'intégrer la circularité aux bâtiments. Ensuite, le développement de la norme ISO20887, intitulée *Design for Disassembly and Adaptability of buildings and civil engineering works*, est aligné avec les changements systémiques proposés par BAMB. Une fois déposé, ce standard pourrait être intégré à BREEAM¹⁵ ou à d'autres types de certifications ainsi qu'aux exigences publiques en matière d'approvisionnement.

¹⁵ BREEAM pour *BRE Environmental Assessment Method*. Établi en 1990, elle a été la première méthode d'analyse de la durabilité au niveau commercial pour la planification de projets d'envergure, d'infrastructures et de bâtiments. Elle reconnaît la valeur des éléments qui réussissent dans le cycle de vie de l'environnement bâti, soit pour la construction neuve ou la rénovation. BREEAM se déploie par une certification des rendements environnementaux, sociaux et économiques.

Survol de la littérature scientifique

Comme nous l'avons mentionné lors du survol de la littérature grise, la réutilisation et recyclabilité des matériaux de construction se font trop rares dans le monde, ce qui entraîne son lot de conséquences. Des auteurs de la communauté scientifique s'intéressent à ce sujet depuis plusieurs décennies déjà. La section suivante présente quelques résultats issus de ces recherches. D'abord, un retour sur le pourquoi nous n'arrivons pas à mieux gérer la réutilisation et recyclabilité des matériaux sera présenté à travers le regard des chercheurs. Ensuite, quelques stratégies pour remédier à cette situation seront discutées. Enfin, nous terminerons cette section du bulletin par quelques innovations en lien avec le recyclage.







Pourquoi est-il difficile de faire mieux ?

Yang et al., (2022) ont réalisé une étude en se servant d'un modèle ascendant dynamique pour évaluer le stock de bâtiments et explorer le potentiel de réutilisation des matériaux dans le secteur résidentiel aux Pays-Bas. Les résultats montrent que l'exploitation minière urbaine ne peut remplacer qu'une petite partie de la consommation de matériaux primaires, principalement parce que l'augmentation de la population nécessitera davantage de nouveaux bâtiments. Il existe un décalage structurel important entre les matériaux recyclés et ceux requis pour les nouveaux bâtiments, étant donné que certains matériaux collectés dans le cadre du programme CRD ne seront pas trop utilisés dans les nouvelles constructions et rénovations. La laine minérale est un matériau d'isolation largement utilisé, mais il est essentiel de réduire son utilisation et de trouver des matériaux alternatifs à faibles émissions de GES (par exemple, des matériaux d'origine biologique). Dans cette étude, le potentiel de contenu recyclé fixe est utilisé, mais il pourrait augmenter à l'avenir, de sorte que le potentiel de réduction des émissions de GES de l'exploitation minière urbaine pourrait être sous-estimé. Cependant, les auteurs notent que la combinaison d'une décarbonisation accélérée et du minage urbain pourrait permettre de réduire de 40 % les émissions de CO² de ce secteur d'ici 2050. Un problème de disparité géographique est également noté entre ce qui est disponible et ce qui est exigé. Il faudra donc des stratégies de coordination pour que les développements urbains avoisinants puissent puiser dans les ressources des vieux quartiers.

Allam et Nik-Bakht (2023), quant à eux, soulèvent aussi le fait qu'il existe plusieurs barrières pour intégrer les principes de circularité dans le secteur de la construction. Dans leurs études, ils ont identifié en tout 37 barrières, qu'ils ont groupées en six catégories. Les barrières ont été identifiées en s'appuyant sur neuf- recherches empiriques sur le sujet datant des années 2020 à 2022. Afin de regrouper les barrières, la méthode PESTLE¹⁶ a été utilisée. Voici les résultats dans le tableau suivant :

¹⁶ La méthode d'analyse PESTEL (Politique, Économique, Socioculturelle, Technologique, Écologique et Légale) est un outil de diagnostic stratégique qui permet de comprendre l'influence extérieure qui peut impacter une activité.

Tableau 2 : Résultats de la méthode PESTLE

	<ul style="list-style-type: none"> • Incertitude par rapport aux besoins futurs. • Manque d'investissements pour promouvoir la circularité dans la construction. • Contradictions entre les réglementations. • Manque de réglementations et guides pour la circularité dans le secteur de la construction.
	<ul style="list-style-type: none"> • Bénéfices économiques de la circularité dans le secteur de la construction. • Marché de la demande minuscule en ce qui concerne la réutilisation des matériaux. • Changement du modèle d'affaires du secteur de la construction. • Marché sous-développé des facilitateurs qui pourraient favoriser le développement de la circularité. • Contraintes de coûts et d'échéanciers.
	<ul style="list-style-type: none"> • La mentalité des clients (propriétaires). • Le rôle de leadership des concepteurs. • Stigma social négatif au réemploi des matériaux. • Manque d'ouverture du public concernant le modèle d'affaires de la circularité en construction. • Résistance aux changements des parties prenantes. • Manque d'ouverture des parties prenantes concernant le modèle d'affaires de la circularité en construction. • Mauvaise compréhension du concept de circularité. • Soutien public.
	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse technique des produits réutilisés. • Performance esthétique des matériaux réutilisés. • Mauvais alignement entre l'offre et la demande. • Manque d'informations. • Contradictions entre les exigences de la conception pour la déconstruction et d'autres possibilités du bâtiment. • Prévion du temps et des coûts pour la rénovation et/ou la récupération. • Manque d'infrastructures pour implémenter la circularité dans le secteur de la construction. • Manque d'expertise et de connaissances de la circularité du secteur de la construction. • Enjeux de durabilité des matériaux réutilisés. • Projets uniques et manque de standardisation. • Manque de technologies digitales. • Complexité du processus de conception. • Environnement bâti non adapté au désassemblage.
	<ul style="list-style-type: none"> • Quantification précise des bénéfices environnementaux. • Compromis entre les différentes stratégies de durabilité.
	<ul style="list-style-type: none"> • Certifications et garantie des matériaux réutilisés. • Manque de coordination entre les parties prenantes. • Coursus universitaire pour la conception de bâtiments. • Partage des risques non balancés.

Pour conclure, les auteurs mentionnent que les barrières se répètent d'une étude à l'autre, ce qui démontre que l'exploration des barrières constitue un sujet saturé. Ce qu'il faut maintenant, c'est

de bien les comprendre pour aider au développement de plans d'action et mettre en œuvre des stratégies efficaces pour renverser la tendance.

Les mêmes auteurs, A. S. Allam, Panizza et Nik-Bakht, 2023, réalisent un projet de recherche sur l'état de préparation de l'industrie de la construction canadienne à adopter un modèle de déconstruction. L'étude s'intéresse à trois scénarios : 1) *Déconstruction in Utopia*; 2) *Canada Status Quo* et 3) *Canada Readiness for Deconstruction Adoption*. L'article discute également des barrières et défis devant être surmontés dans la transition vers la déconstruction. Ils soulignent le haut potentiel du *Code national du Bâtiment du Canada* (CNB) et le *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED). Le premier scénario présente une situation idéale dans laquelle les bâtiments peuvent être déconstruits et les capacités et connaissances pour gérer la déconstruction sont bien implantées. En étudiant les recherches qui proposent un scénario semblable, les auteurs attirent l'attention sur les freins et barrières. Sans surprise, ce sont les mêmes qui se retrouvent dans l'analyse selon la méthode PESTEL. Le deuxième scénario étudie l'état actuel des choses, c'est-à-dire les statistiques gouvernementales, réglementations, standards, guides, conférences sur le sujet ainsi que les pratiques actuelles en lien avec les déchets CRD. Enfin, les auteurs analysent les facteurs externes et internes (positifs et négatifs) affectant l'implantation de la déconstruction à la fin de vie des infrastructures, et ce, à travers les forces, faiblesses, opportunités et menaces répertoriées (analyse SWOT ou FFOM en français). Voici les résultats ci-dessous.

Tableau 3 : Analyse FFOM de l'adoption de la déconstruction au Canada (A. S. Allam, Panizza, et Nik-Bakht, 2023)

Forces	<ul style="list-style-type: none"> • Adopter la déconstruction peut sauver 2,5 millions de tonnes de déchets. • Le Canada possède des leaders de l'industrie ayant adopté des stratégies de circularités. • LEED offre des certifications pour les bâtiments qui s'orientent vers la circularité. • Le Canada possède des lignes directrices pour certifier la construction hors site selon le CNB.
Faiblesses	<ul style="list-style-type: none"> • Plus de 16 % des déchets CRD sont détournés des sites d'enfouissement à travers la filière du recyclage au Canada. • La déconstruction n'est pas mentionnée dans le CNB du Canada. • Les bâtiments ne sont pas adaptés au désassemblage. • La certification LEED n'est pas obligatoire et les propriétaires de bâtiments peuvent choisir d'y adhérer ou pas.
Opportunités	<ul style="list-style-type: none"> • L'adoption de la déconstruction peut apporter de nouvelles opportunités d'affaires. • Le Canada a pour but d'améliorer son indice de circularité. • L'accomplissement des objectifs de durabilités (SDG 12) : consommation et production responsables. • Héberger la coupe du monde 2026 apporte une opportunité pour le Canada de promouvoir la circularité dans la construction.
Menaces	<ul style="list-style-type: none"> • Certification des produits réutilisés identiques à celles des nouveaux. • Marché des produits réutilisés immatures. • Pas de différenciation nette entre le recyclage et la réutilisation des déchets.

Quelles sont les stratégies proposées par les chercheurs ?

Dans la section portant sur la littérature grise, il fut discuté le fait qu'une adéquation entre les matériaux usagés disponibles, soit dans des entrepôts ou même sur des bâtiments existants, et les nouveaux besoins est essentielle pour éviter que les matériaux issus de la démolition ou déconstruction terminent leur vie dans des sites d'enfouissement ou centres de recyclage. Pour ce faire, il faut, entre autres, une bonne connaissance des matériaux disponibles, ce qui peut s'avérer complexe. La planification de la déconstruction est également importante pour qu'elle se fasse en moment opportun, soit lorsque des besoins en matériaux existent, sans quoi il faudra stocker pendant longtemps de larges volumes de ressources. Enfin, les bonnes méthodes de déconstruction sont essentielles afin de préserver la qualité des matériaux et favoriser leur réemploi. Pour surmonter ces divers obstacles, plusieurs auteurs proposent des stratégies innovantes qui seront présentées dans cette section.

Analyse des stocks de matériaux

Le suivi de la composition, de la quantité et de l'emplacement des matériaux, connu sous le nom d'analyse des stocks de matériaux de construction (MSA), constitue une première étape pour permettre la réutilisation ou le réemploi des matériaux comme stratégie clés dans l'économie circulaire. Alors que le nombre des stratégies de MSA augmente, il est nécessaire d'évaluer le rendement de chaque stratégie pour en connaître les avantages et faiblesses. Mohammadizazi et Bilec (2022) ont examiné 62 articles de revues et conférences sous différents angles, notamment les approches MSA classées en trois familles : ascendante, descendante et par télédétection.

Les approches ascendantes

Les approches ascendantes sont principalement utilisées pour quantifier et géolocaliser les matériaux en combinant les attributs physiques des bâtiments (par exemple, la surface au sol et le volume) avec l'intensité des matériaux. Ces approches permettent de produire des résultats plus fins que d'autres approches. Si le développement de modèles ascendants nécessite beaucoup de données et travail, les progrès récents en matière de système d'information géographique (SIG), la transparence accrue des données et les mandats des villes et municipalités ont permis d'améliorer la qualité de l'information.

Par exemple, Gontia, Thuvander et Wallbaum, (2020) ont calculé à la fois la surface utile moyenne de chaque archétype et le nombre de bâtiments relevant de différents archétypes à partir de bases de données nationales. En multipliant la surface utile par le nombre correspondant de bâtiments, la surface totale et le stock de matériaux supplémentaires des bâtiments résidentiels suédois ont été calculés. L'utilisation de la surface moyenne de l'archétype empêche la géolocalisation ou la cartographie des matériaux au niveau du bâtiment, ce qui est important pour faire recirculer efficacement les matériaux dans une boucle de consommation par différents moyens (par exemple, la réutilisation et le recyclage).

Les approches descendantes

Les approches descendantes sont établies sur la base de la relation entre les forces motrices (par exemple, la population, le mode de vie et le produit intérieur brut) et le stock des matériaux de construction ou les données économiques et commerciales. Ces approches présentent l'avantage

d'être moins gourmandes en données que les approches ascendantes et ainsi d'être plus faciles à mettre en œuvre. Elles intègrent les interactions entre la société et les matériaux d'une part et entre l'économie et les matériaux d'autre part. Il est donc possible d'utiliser ces approches pour développer des modèles prospectifs de stocks de matériaux fondés sur une variété de scénarios socioéconomiques. En outre, les conceptualisations illustrées par les modèles descendants peuvent être utiles à l'élaboration des politiques.

Par exemple, dans le modèle développé par Müller, la surface de plancher moyenne par habitant a été multipliée par la population pour estimer la surface de plancher des bâtiments. En outre, la surface de plancher a été multipliée par l'intensité des matériaux et le total des matériaux accumulés dans le parc immobilier aux Pays-Bas a été estimé (B. Müller, 2006).

Les approches par télédétection

Quelques études se sont appuyées sur l'imagerie satellitaire pour prendre en compte le stock des matériaux des bâtiments.

Par exemple, Hsu et al., (2010) ont étudié la relation qui existe entre les images lumineuses nocturnes et la quantité d'acier accumulée dans les bâtiments de quatre villes japonaises. Ils ont créé un modèle de régression linéaire pour établir une corrélation entre la lumière nocturne et l'acier dans les bâtiments. Bien que cette méthode de télédétection soit rapide et bénéfique pour fournir une large perspective de l'acier dans les bâtiments, elle n'offre pas d'informations spécifiques essentielles pour l'utilisation circulaire de l'acier lors de la déconstruction des bâtiments.

Afin de surmonter les difficultés propres à chaque méthode, des auteurs proposent diverses méthodologies. D'abord, Raghu, Bucher et De Wolf, (2023) cherchent à surmonter la difficulté que représente l'acquisition manuelle de données sur les bâtiments, en combinant l'imagerie au niveau de la rue (par exemple, Google Map) et les techniques d'intelligence artificielle. Ces auteurs évaluent l'efficacité d'une méthode qu'ils proposent sur quatre ensembles de données différentes provenant de trois villes aux façades architecturales distinctes : Zurich (ZRH), Tokyo (TKY) et New-York City (NYC), ainsi que sur un ensemble de données combinées provenant des trois villes. Ils étudient trois modèles de classification d'images différentes et démontrent de solides capacités de classification des matériaux propres aux façades des bâtiments dans les trois modèles, obtenant ainsi des scores F1 macro-moyens élevés de 0,91 pour TYK, de 0,91 pour NYC et de 0,96 pour ZRH. L'étude indique que les données issues de l'imagerie de la rue peuvent constituer une ressource précieuse pour la création de grands ensembles de données à l'échelle urbaine propres aux informations liées aux matériaux de construction.

La Figure 25 présente un schéma simplifié de la méthode. D'abord, il y a la période de collecte des données et de prétraitement. Ces données sont issues du domaine public. Ensuite, l'utilisation de réseaux de neurones permet l'entraînement d'un modèle qui sera en mesure d'associer les différents matériaux aux signatures spécifiques des images.

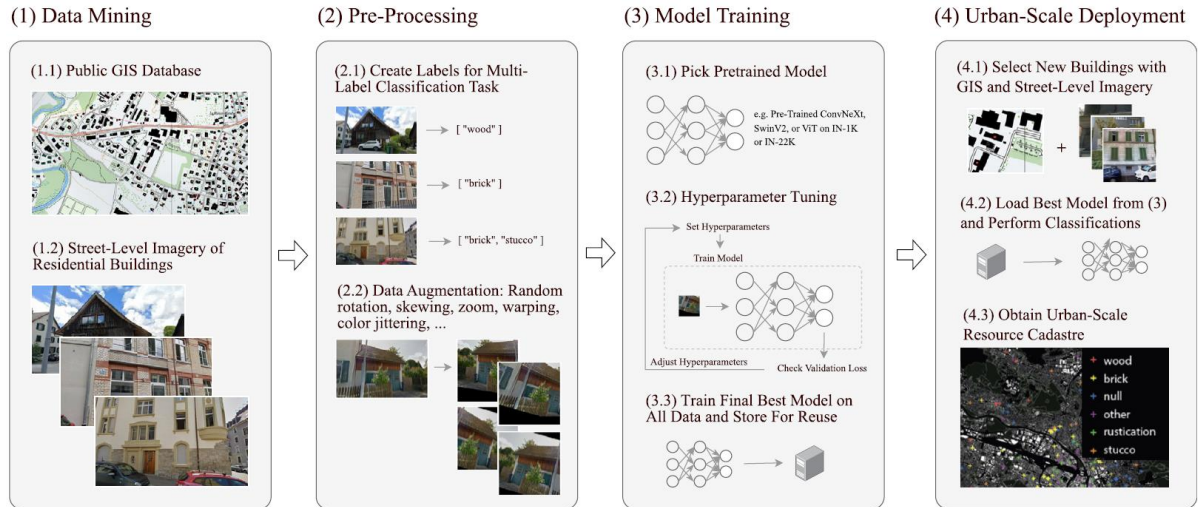


Figure 25 : Schéma simplifié de la méthode proposée par Raghu, Bucher et De Wolf, (2023).

Un des résultats exploitables (Figure 26) est une carte de la ville qui présente, en fonction de la zone, les types de matériaux disponibles. Dans cette étude, les matériaux sont ceux qui forment la partie extérieure et apparente des bâtiments.

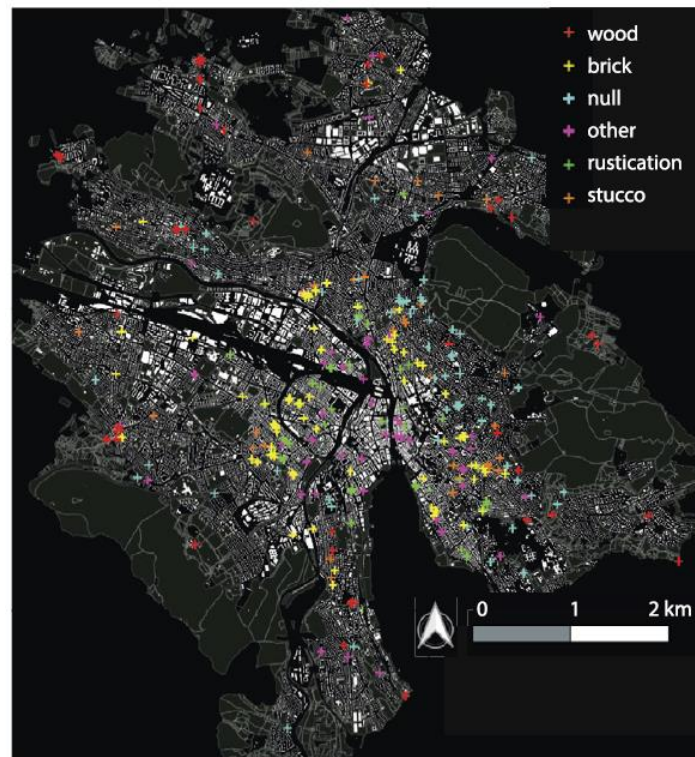


Figure 26 : Cadastre urbain des ressources disponibles (matériaux de construction) pour ZRH.

Dans une autre étude, Mohammadizazi et Bilec (2023) ont créé un modèle ascendant utilisant certains aspects d'un modèle énergétique des bâtiments urbains précédemment développé pour

analyser le flux accumulé et issu de la rénovation de matériaux spécifiques dans les bâtiments commerciaux. Les techniques de photogrammétrie et traitement d'images employées dans cet article ont permis d'utiliser des attributs physiques réels des bâtiments au lieu d'hypothèses, ce qui a amélioré la précision du modèle ascendant. Les résultats ont montré que le béton (37 %), la brique (30 %) et la laine minérale (17 %) constituaient la majeure partie des matériaux accumulés.

Planifier la déconstruction pour mieux réutiliser les matériaux

Une étude réalisée en collaboration avec la Régie intermunicipale de traitement des matières résiduelles de la Gaspésie (RITMRG) contribue à orienter le secteur de la CRD vers la déconstruction pour maximiser le réemploi des matériaux dans un contexte d'économie circulaire (Nganmi Tchakouto, Boukherroub et Drapeau, 2023). Les auteurs s'intéressent à un cas d'étude régional (en Gaspésie) présentant cinq bâtiments (dans deux sites différents) devant être déconstruits. Une analyse de la situation actuelle, allant de la description du problème à la cartographie du processus de déconstruction mis en œuvre, est d'abord effectuée. Ensuite, les enjeux et difficultés rencontrés durant la mise en œuvre du processus sont identifiés. Enfin, des propositions pour améliorer le processus actuel sont exposées. La présentation du processus de déconstruction ainsi que des propositions pour améliorer le processus semblent constituer les aspects les plus pertinents à présenter dans le cadre de ce bulletin. Les figures suivantes expliquent de façon schématique quel est ce processus, qui se divise en trois grands jalons : la phase de la pré-déconstruction (Figure 27), la phase de la déconstruction (Figure 28) et la phase post-déconstruction (Figure 29).

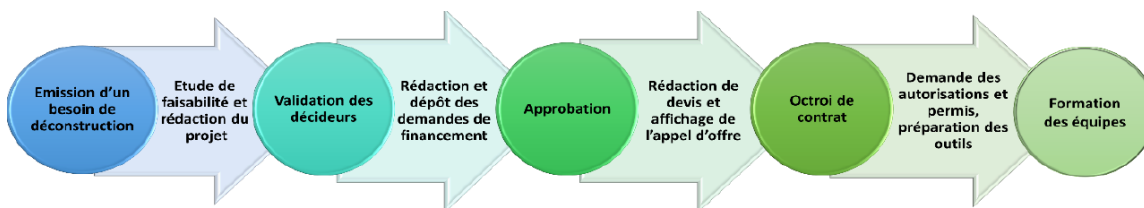


Figure 27 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de pré-déconstruction.

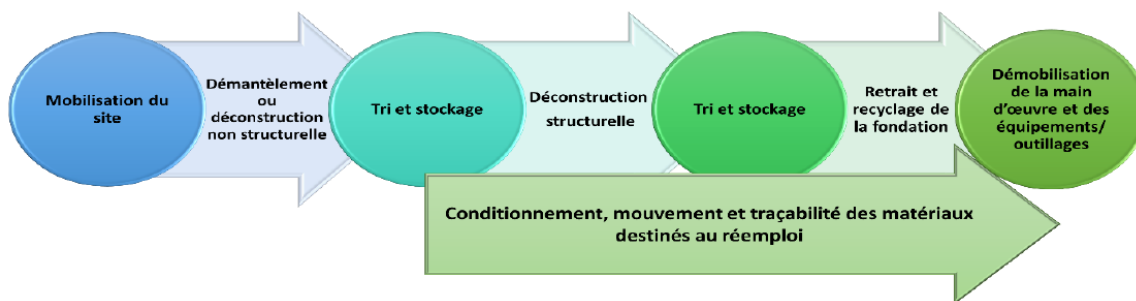


Figure 28 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de déconstruction.

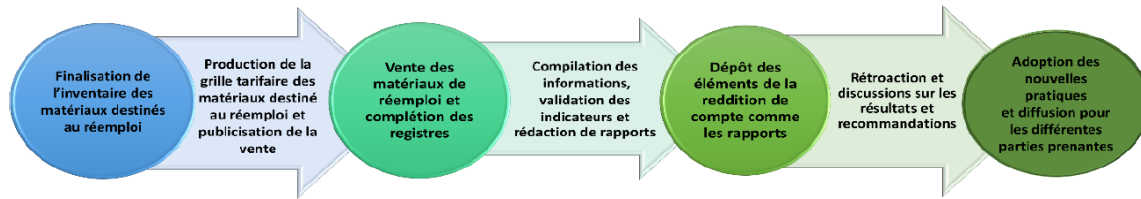


Figure 29 : Cartographie de processus simplifiés de la phase de post-déconstruction.

Après avoir réalisé les différents projets de déconstruction de leur étude, les auteurs ont formulé des recommandations et pistes d'amélioration, principalement en ce qui concerne la phase de pré-déconstruction. Lors de la préparation de la fiche du projet, il est recommandé de faire appel à un expert pour réaliser l'inventaire du bâtiment (nouveaux bâtiments) avant de réaliser le projet et, ensuite, d'établir une fiche technique contenant toutes les informations (inventaire des matériaux) sur le bâtiment (anciens bâtiments). La documentation sur le sujet, quant à elle, propose d'effectuer une étude minutieuse du marché et des débouchés existants pour les matériaux à mettre en vente afin de matérialiser les bénéfices financiers et environnementaux de la déconstruction. Toujours dans la phase de planification du projet, il est nécessaire de débiter tôt et d'inclure toutes les personnes engagées dans le projet pour éviter de mauvaises négociations ou des défauts de vente, de même que pour laisser un temps suffisant pour le démontage (un plan complet de gestion des matériaux doit être soigneusement préparé et examiné).

Au moment d'afficher l'appel d'offres, il est recommandé de recruter une main-d'œuvre appropriée et une équipe bien organisée pour effectuer la déconstruction. Tous les participants doivent comprendre les objectifs de la valorisation pour assurer le succès de la réutilisation ou du recyclage, car de la négligence sur le chantier peut facilement entraîner la destruction ou diminution de la valeur des matériaux réutilisables ou recyclables. Enfin, il est pertinent d'exiger que l'entrepreneur fournisse un plan de gestion des matières résiduelles du chantier au moment du dépôt de sa soumission et d'en vérifier la conformité avant l'octroi du contrat.

Concernant le cas d'étude en Gaspésie, les commentaires recueillis sont positifs et les résultats sont concluants. La capacité de réalisation de l'entrepreneur a été confirmée et des retombées locales ont été constatées. Selon la directrice générale de la Régie intermunicipale de traitement des matières résiduelles de la Gaspésie (RITMRG), les coûts associés à la déconstruction des deux sites gaspésiens sont équivalents ou inférieures à ceux qui auraient été générés par la démolition traditionnelle.

Une autre méthode proposée par A. Allam et Nik-Bakht, (2024) repose sur la planification de la déconstruction à partir de graphiques fondés sur les connaissances (GC), c'est-à-dire qui utilisent les connaissances et l'expérience de l'entreprise. Premièrement, les auteurs définissent les caractéristiques de l'installation à déconstruire, y compris les relations entre les composantes du bâtiment. Deuxièmement, les caractéristiques des matériaux composant l'installation ont été transformées en un GC. Voici une partie du graphique des connaissances pour quelques nœuds (par exemple, C7 est une poutre et C4 est une colonne). Les flèches, quant à elles, représentent les relations entre les nœuds.

le nombre de déconstructions, la disponibilité et variété des matériaux de construction récupérés augmenteront, tandis que le prix initial des matériaux de construction réutilisés diminuera, ce qui induira un marché plus fort pour les matériaux secondaires;

- Phase 3 (analyse et optimisation) : Cette phase est continue tout au long du cycle pour assurer que les projets BAMB s'améliorent continuellement et deviennent une solution économiquement plus viable;
- Phase 4 (utilisation primaire) : Dans cette phase, la majeure partie du système de cartographie géospatiale est utilisée. Plus précisément, les projets de déconstruction et construction communiquent l'offre et la demande pour localiser et réutiliser facilement les matériaux de construction avec l'aide d'organismes à but non lucratif ou d'organisations tierces visant à recertifier, revaloriser, tester et suivre les matériaux.

Bien que le cadre et les idées présentées aient été théorisés, une étude de cas sera présentée à l'avenir pour accompagner les phases et étapes du cadre conceptuel afin d'aider à la visualisation de ce processus. Cette étude de cas devrait porter sur le *Frick Environmental Center* situé à Pittsburgh en Pennsylvanie.

Projet à succès

Quelques projets à succès en matière de déconstruction et construction recourant à des matériaux réutilisés ont fait l'objet d'articles scientifiques. Dans cet exemple, il s'agit d'une étude de cas qui présente la mise en œuvre de la réutilisation dans le projet Hal7, soit une transformation récemment achevée d'un ancien bâtiment industriel (Manelius, Nielsen, et Schipull Kauschen, 2019). Le document s'appuie sur des méthodes qualitatives en interrogeant les architectes du projet qui ont également fournis les chiffres utilisés. Sur la base de ces entretiens, il sera avancé que les administrateurs municipaux jouent un rôle sans précédent en tant que moteurs de la mise en œuvre de l'économie circulaire dans le secteur de la construction. Environ 90 % des matériaux ayant servi dans le projet ont été réutilisés et le bâtiment Hal7 représente la preuve qu'il est possible de construire un espace sur mesure avec un profil très social et un budget très limité. Les qualités traditionnelles de la construction, telles que l'artisanat, la collaboration, la créativité et la confiance semblent constituer le principal moteur du projet. Celui-ci a l'avantage de repousser les frontières de la construction, alors qu'il n'aurait pas pu voir le jour si l'une des parties avait agi de manière conventionnelle.

Le bâtiment industriel consistait en une structure existante non chauffée doté d'un sol en béton de 1 600 m² ayant été réutilisé. Tous les conteneurs (servant à faire les divisions intérieures) provenaient de conteneurs d'expédition mis au rebut, dont dix ont été réutilisés une deuxième fois parce qu'ils avaient été employés par des fabricants dans un lieu précédent. Toutes les fenêtres ajoutées étaient des fenêtres réutilisées ainsi que certaines portes. Le plancher en bois provient de la rénovation d'une salle de sport. Les nouveaux matériaux comprennent l'isolation en papier granulé pour les sols et les conteneurs, les cloisons en polycarbonate, le revêtement en contreplaqué pour les murs et les plafonds, les structures en bois qui soutiennent les conteneurs ainsi que le plancher surélevé et le revêtement en polycarbonate. Au total, le taux de réutilisation peut être estimé à environ 90 %.

Les architectes ont été chargés de cartographier la zone locale pour l'extraction de matériaux dans un rapport suggérant les composants de matériaux à conserver provenant de telle ou telle région

et les applications potentielles. En outre, la ville a suggéré des installations vides pour entreposer les matériaux d'origine afin qu'ils soient réutilisés au lieu d'être recyclés. Enfin, la main-d'œuvre locale a été mise à profit dans l'approvisionnement et l'administration des matériaux.

Matériaux innovants issus du recyclage

Comme nous l'avons expliqué, la réutilisation des matériaux de construction devrait constituer la priorité, mais plusieurs obstacles en rendent le déploiement difficile. Le recyclage devient alors une alternative intéressante par rapport à l'enfouissement. Plusieurs chercheurs se sont intéressés à ce sujet en essayant de valoriser les déchets, soit en les transformant ou en les ajoutant à de nouveaux matériaux de construction. Alors que certains processus de transformation de la matière sont mûrs et prêts à être déployés à grande échelle, d'autres se trouvent encore au stade de la recherche et développement. Quelques-uns de ces matériaux prometteurs seront présentés dans cette section.

D'abord, une première étude se concentre sur la création de matériaux de construction biosourcés en utilisant des déchets provenant de la fabrication de panneaux de ciment bois-laine. Les liants et matériaux de remplissage ont été obtenus à partir de déchets de fabrication de ces panneaux de ciment-bois et utilisés dans cette recherche (Argalis et al., 2024).

En s'appuyant sur leurs propriétés physiques et mécaniques, les matériaux de construction biosourcés créés pourraient être utilisés dans des applications non porteuses, telles que les cloisons murales intérieures ainsi que les dalles de plafond et l'isolation. Leur résistance modérée à la compression pourrait en faire une option viable pour les projets de construction à faible contrainte. En outre, leur nature écologique pourrait les rendre intéressants pour les pratiques de construction durable. En effet, les résultats ont démontré que le matériau présentait de bonnes propriétés thermiques, telles qu'une faible conductivité thermique, ce qui lui confère un potentiel d'utilisation en tant qu'isolant thermique (entre 0.0827 et 0.1172 W/[m-K], selon l'échantillon). La densité du matériau a diminué au fur et à mesure que l'ajout de liant diminuait, passant de 613 à 430 kg/m³. En comparant la résistance à la flexion et compression, l'échantillon P1 a atteint les valeurs les plus élevées, soit 236 kPa pour la résistance à la flexion et 469 kPa et 330 kPa pour la résistance à la compression, et ce, dans les directions de formation parallèle et perpendiculaire, respectivement. L'échantillon P3 a atteint les valeurs les plus basses, avec une résistance à la flexion de 60 kPa et une résistance à la compression de 177 kPa dans le sens parallèle et de 55 kPa dans le sens perpendiculaire. Voici un aspect visuel et un exemple d'application pour le produit développé :



Figure 31 : Système simplifié d'une enveloppe fondé sur le développement du matériau biosourcé.

Le deuxième sujet traite de la réutilisation de déchets provenant de briques rouges d'argile (BRA), rebus de béton (DB) et débris de verre (DV). Les auteurs réutilisent ces produits pour créer de nouvelles briques (Robayo-Salazar, Rivera et Mejía de Gutiérrez, 2017). Plus précisément, les déchets entrent en jeu dans la fabrication des ciments activés par les alcalins (CAA), qui peuvent ensuite être utilisés pour fabriquer des blocs, pavés, tuiles et carreaux. Les activateurs alcalins utilisés étaient des solutions de NaOH et de verre soluble. Le ciment Portland ordinaire (OPC) a été mélangé au BRA et au DB dans des proportions allant jusqu'à 30 % pour créer des ciments hybrides. Les CAA obtenus avec le RCBW, le CW et le DV ont présenté des résistances maximales à la compression (28 jours) de 102, 33 et 57 MPa respectivement. Voici un schéma du processus qui débute lors de la démolition des bâtiments et qui se termine par la fabrication des matériaux :

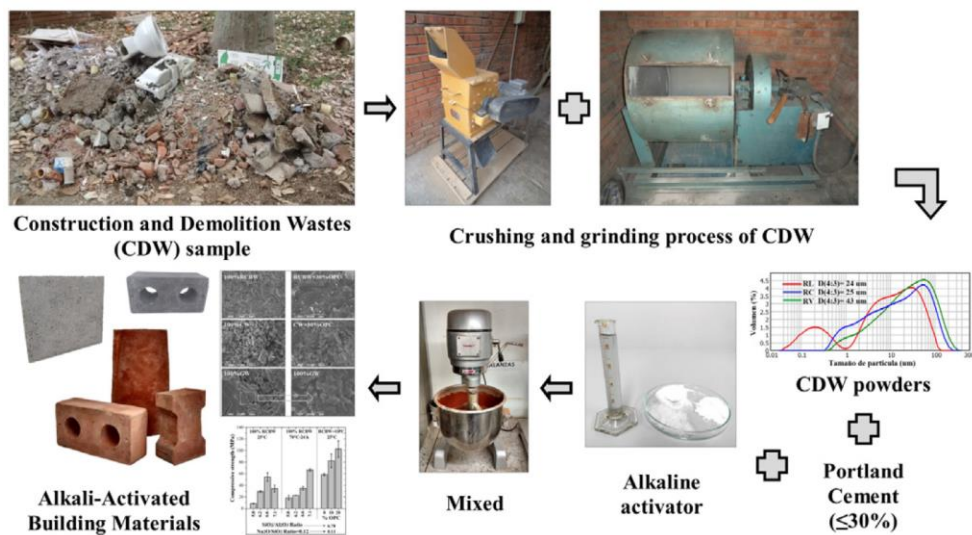


Figure 32 : Processus permettant la fabrication de matériaux de construction recyclés activé par un alkali.

Voici d'autres références qui concernent la fabrication de matériaux de construction à partir de déchets : (Xiong et al., 2022 ; Lou et al., 2023 ; Jiang et al., 2024 ; He et al., 2024 ; Chen et al., 2022).

Conclusion

Ce bulletin a permis de brosser un portrait de la situation sur la réutilisation et le recyclage des matériaux de construction. Sachant que le carbone lié à l'énergie nécessaire à la production des matériaux et ses installations représentent 11 % des GES mondiaux, il s'agit d'un sujet d'actualité sur lequel de nombreux intervenants travaillent. Malgré les efforts, le détournement des déchets CRD vers les sites d'enfouissement est toujours une tendance dominante. Heureusement, les solutions sont nombreuses pour y remédier. Des débouchés existent en effet pour la réutilisation des matériaux. Il est donc important que la déconstruction se réalise au détriment de la démolition. À cet égard, des processus de déconstruction ont été présentés. La bonne planification, le suivi d'une expertise en la matière et les incitatifs financiers font partie des solutions pour initier la transition. D'autres solutions, par la voie réglementaire, ont également été présentées et permettent à l'industrie de changer ses pratiques devant l'obligation de se conformer. Une des solutions avancées concerne la conception pour la déconstruction. Si, dès le départ, les bâtiments sont conçus pour être déconstruits, il sera beaucoup plus facile à l'avenir de récupérer les matériaux. Puisque les bâtiments déjà en place n'ont pas été construits de cette manière et que les éléments utilisés autrefois n'étaient pas toujours les mêmes que ceux utilisés aujourd'hui, le stock des matériaux disponibles pour la réutilisation s'avère limité. Afin qu'un changement important s'opère, il est donc primordial que les solutions deviennent holistiques, qu'elles soient portées par des leaders responsables et que les clients avant-gardistes deviennent de plus en plus nombreux de manière à exiger que ce que la société crée respecte les limites biophysiques de la terre. Bien que cela ne concerne pas la réutilisation et le recyclage des matériaux, il s'avère également essentiel d'accroître la rénovation et l'entretien des bâtiments existants d'abord, de sorte à éliminer le problème à sa source.

Thèmes en suivi

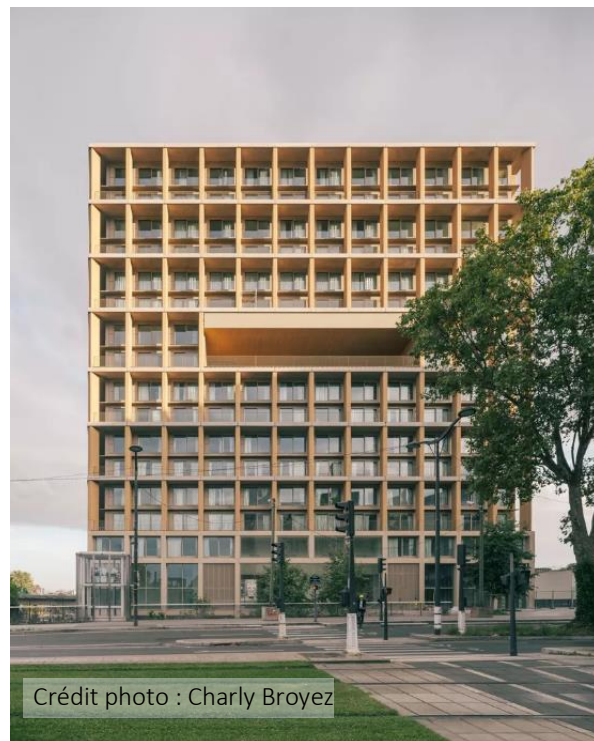
Cette section du bulletin présente des informations complémentaires en lien avec les différents domaines d'intervention de la RBQ. De nouvelles informations ou un suivi des thèmes abordés dans les bulletins précédents sont présentées.

No 1 : Architecture

Construction en bois

À Paris, cette tour de 50 mètres de hauteur met le bois à l'honneur à tous ses étages. Avec ses 15 niveaux situés au-dessus de la chaussée, sans compter les niveaux inférieurs, la foncière GECICA compte louer l'essentiel des 132 logements de cet immeuble. L'objectif du projet sera donc : « d'amener la ville dans l'immeuble et vice-versa ». Les locataires bénéficient d'un immense toit-terrasse ainsi que de 800 m² de terrasses privées et 500 m² de terrasses collectives. Au 8^e étage, une étonnante terrasse de plus de 300 m² s'y retrouve aussi, mi-cour ouverte mi-belvédère, pouvant accueillir jusqu'à 300 personnes. L'endroit bénéficiera également de mobiliers modulaires et d'éléments de cuisine mobiles qui seront réalisés avec des chutes de bois recyclées de la construction.

Il est estimé que 80 % du bois est d'origine française. Grâce aux qualités écologiques du bois, le bilan carbone est réduit de 60 % par rapport aux constructions traditionnelles. Malgré les premières mises en œuvre dans ce chantier, le coût des travaux reste maîtrisé avec un prix de revient affiché de 2 700 € le mètre carré, contre une estimation de 2 300 € pour une réalisation classique en béton. Le promoteur met également en avant son engagement dans la démarche « Un immeuble, une forêt », qui a amené l'entreprise à replanter 14 000 arbres dans ce projet. « Il y a un vrai enjeu de reboisement. Il faut créer des réserves, si les constructions en bois se multiplient » : souligne Umberto Napolitano, de l'Agence d'architecture LAN et responsable du projet.



Pour en savoir davantage : https://immobilier.lefigaro.fr/article/a-paris-cette-tour-de-15-etages-met-le-bois-a-l-honneur-a-tous-les-etages_0bb166d2-8241-11ef-ba92-2ad55592a828/.

No 2 : Bâtiment durable

Défis énergie en immobilier (DÉI)

Ce mardi 15 octobre à Montréal, BOMA Québec levait le voile sur les lauréats de l'an 2 du DÉI, qui se sont démarqués par leur engagement et rendement écoénergétique au cours de l'année 2023. Lancée en 2018 et renouvelée quatre années plus tard pour une 2^e édition, cette compétition conviviale vise à favoriser la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de GES dans les bâtiments commerciaux, institutionnels et multi-résidentiels à travers le Québec. En 2023, 303 participants ont partagé leurs données énergétiques, soit une augmentation de 25 % par rapport à 2022. Ils provenaient de l'ensemble du Québec avec une répartition de 132 participants à Montréal, de 25 à Québec et de 85 dans diverses autres municipalités. Les bâtiments présentés par ces participants représentent une superficie totale de 7 304 324 m² répartie dans divers secteurs immobiliers : immeubles à usage mixte (35), bureaux (160), éducation (18), immeubles multi-résidentiels (32), immeubles universels (42) et services à la population (16). Voici quelques données :

Le DÉI en chiffres pour 2023

- Réduction globale de l'intensité énergétique de 2,9 % par rapport à 2022 (0,85 GJ/m² contre 0,87 GJ/m²);
- Réduction globale de l'intensité des GES de 10 % (8,43 kgCO₂e/m² contre 9,36 kgCO₂e/m²), soit une baisse de 7 229 tonnes de CO₂ ou encore de 2 375 539 m³ de gaz naturel économisés;
- En quantité, 39,9 % des bâtiments ont réduit leurs émissions de GES de plus de 10 %;
- Une somme de 21,5 % des bâtiments ont diminué leur intensité énergétique de plus de 10 %;
- Un total de 50 % des bâtiments utilisent l'électricité comme principale source d'énergie à plus de 95 %.

En comparant avec les données de référence de 2018, année de lancement du DÉI, BOMA Québec observe :

- Une amélioration de l'intensité énergétique de 14 % (0,82 GJ/m² contre 0,96 GJ/m²);
- Une diminution de l'intensité des GES de 35 % (6,95 kg CO₂e/m² contre 10,61 kg CO₂e/m²);
- Une amélioration globale de l'intensité des GES de 35 % en 2018, par rapport à 2023 (6,95 kg CO₂e/m² vs 10,61 kg CO₂e/m²).

Pour en savoir davantage : <https://www.voirvert.ca/nouvelles/rubriques/le-defi-energie-immobilier-20-couronne-les-laureats-lan-2#:~:text=Contact-,Le%20D%C3%A9fi%20%C3%A9nergie%20en%20immobilier%202.0,laur%C3%A9ats%20de%20l'a n%202&text=BOMA%20Qu%C3%A9bec%20levait%20le%20voile,tout%20au%20long%20de%202023.>

Références

- Agence France-Presse. 2024. « “Queen of Trash” in dock in Sweden’s biggest toxic waste scandal ». *ZAWYA Green*, 3 septembre 2024. <https://www.zawya.com/en/special-coverage/zawya-green/queen-of-trash-in-dock-in-swedens-biggest-toxic-waste-scandal-m3ypsi51>.
- Allam, Amr, et Mazdak Nik-Bakht. 2023. « Barriers to circularity in construction: an analysis of experts’ perspectives ». Dans . <https://doi.org/10.35490/EC3.2023.234>.
- — —. 2024. « Knowledge Graph-based Deconstruction Planning of Buildings Products ». Dans . <https://doi.org/10.22260/ISARC2024/0132>.
- Allam, Amr S, Rafaela Orenza Panizza, et Mazdak Nik-Bakht. 2023. « A SWOT Analysis for Deconstruction of the Canadian Built Environment ». Dans , 287-99. https://doi.org/10.1007/978-3-031-61499-6_22.
- Argalis, Pauls P., Maris Sinka, Martins Andzs, Aleksandrs Korjajins, et Diana Bajare. 2024. « Development of New Bio-Based Building Materials by Utilising Manufacturing Waste ». *Environmental and Climate Technologies* 28 (1): 58-70. <https://doi.org/10.2478/rtuect-2024-0006>.
- Audouin, Marion, Julien Mussard, Mathilde Mieske, et Anne-Lise Koessler. 2023. « Projet Pilote de tri sur chantier ».
- B. Müller, Daniel. 2006. « Stock dynamics for forecasting material flows—Case study for housing in The Netherlands ». *Ecological Economics* 59 (1): 142-56. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.09.025>.
- Berg, Kim. 2024. « Construire avec des déchets ». 25 mai 2024. <https://www.deutschland.de/fr/topic/savoir/la-construction-durable-recycler-les-materiaux-de-construction>.
- Bergeron, Ulysse. 2024. « Un centre de tri délinquant ». *La Presse*, 2 août 2024. <https://www.lapresse.ca/actualites/grand-montreal/2024-08-02/montreal-est/un-centre-de-tri-delinquant.php>.
- BigRentz. 2024. « 24 Construction Waste Statistics & Tips to Reduce Landfill Debris ». BigRentz. 26 février 2024. <https://www.bigrentz.com/blog/construction-waste-statistics?srsId=AfmBOorDKmyK7gcpc6tOLUtlIn5oE8RvGXLrCfM8Xi94X66ijpItEQJyr>.
- Blander, Akiva. 2019. « When a Building Comes Down, Where Do It’s Materials Go? » *Metropolis*, 30 janvier 2019. <https://metropolismag.com/viewpoints/recycling-demolition-building-materials/>.
- Bois Laurentides. 2023. « 5 projets intelligents de recyclage ou de revalorisation des matériaux de bois de construction ». Bois Laurentides. 13 mars 2023. <https://boislaurentides.com/nouvelles/5-projets-intelligents-de-recyclage-ou-de-revalorisation-des-materiaux-de-bois-de-construction/>.
- Capelle, Teodora, Stijn Brancart, Anne Paduart, Stijn Elsen, Wesley Lanckriet, Jeroen Poppe, Stephanie Mantell, et al. 2019. « Testing BAMB results through prototyping and pilot projects: D14 - 4 pilots built + feedback report ».

<https://researchportal.vub.be/en/publications/testing-bamb-results-through-prototyping-and-pilot-projects-d14-4>.

- Chamard stratégies environnementales. 2019. « Projet pilote de tri à la source du gypse en chantier ».
- Chayer, Julie-Anne, Clément Edouard, Antoine Léger Dionne, Madavie Tom, Jean-Michel Couture, François Charron-Doucet, Geneviève Martineau, et al. 2019. « La réduction à la source des matériaux et résidus de construction. Guide pour la planification et la gérance de chantier ».
- Chen, Yongliang, Junbao Chen, Jianhua Du, Tiejun Chen, Xuedong Wang, et Dajun Ren. 2022. « Recycling of low-silicate iron tailings in the production of lightweight building materials ». *Journal of Material Cycles and Waste Management* 24 (2): 506-16.
<https://doi.org/10.1007/s10163-021-01336-y>.
- Circle economy. 2024. « Only 8% of used building materials are circular in the Netherlands ». 9 février 2024. <https://www.circle-economy.com/news/only-8-of-used-building-materials-are-circular-in-the-netherlands>.
- CIRCulT. 2023. « Circular Construction In Regenerative Cities Insights from the CIRCulT project ».
- City and county of San Francisco. 2024. « Chapter 14 : Construction and demolition debris recovery ordinance ». American Legal Publishing. 1 septembre 2024.
https://codelibrary.amlegal.com/codes/san_francisco/latest/overview.
- City of Austin. 2014. « Article 9 - construction and demolition materials diversion program ». Austin.
https://library.municode.com/tx/austin/codes/code_of_ordinances?nodeId=THCOAUTE.
- Cliche, Jérôme. 2010. « Le réemploi des matières résiduelles Fiches informatives ».
- Copeland, Samuel, et Melissa Bilec. 2020. « Buildings as material banks using RFID and building information modeling in a circular economy ». *Procedia CIRP* 90:143-47.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.122>.
- Copros, Madeline. 2018. « La valorisation énergétique des déchets : une fausse bonne idée ? » EnergyStream. 2018. <https://www.energystream-wavestone.com/2018/05/valorisation-energetique-dechets-fausse-bonne-idee/>.
- Deshais, Thomas. 2024. « Dépotoirs clandestins : des crimes environnementaux qui rapportent des milliers de dollars ». *Radio-Canada ici Estrie*, 14 mai 2024. <https://ici.radio-canada.ca/info/long-format/2072382/depotoir-illegal-brigham-materiaux-construction>.
- Dillon Consulting, et Oakdene Hollins. 2021. « Waste Prevention: The Environmental and Economic Benefits for Canada ».
- Drouin, Myriam. 2020. « Comment se dessine l'économie circulaire dans le secteur du bâtiment ? ».
- — —. 2021. « Intégration des principes de l'économie circulaire au secteur du bâtiment : des exemples de réglementation ».
- Dubé, Isabelle. 2022. « « On jette de bons matériaux aux ordures » ». *La Presse*, 6 septembre 2022. <https://www.lapresse.ca/affaires/2022-09-06/industrie-de-la-construction/on-jette-de-bons-materiaux-aux-ordures.php>.

- Dutch government. 2018. « Building towards the circular economy in the netherlands in 2050 together ». <https://hollandcircularchotspot.nl/wp-content/uploads/2019/09/Circular-Construction-Economy.pdf>.
- — —. 2024. « Accelerating the transition to a circular economy ». 2024. <https://www.government.nl/topics/circular-economy/accelerating-the-transition-to-a-circular-economy#:~:text=The%20Dutch%20government%20has%20set,transition%20to%20a%20circular%20economy>.
- European Parliament. 2024. « Revision of the Construction Products Regulation ».
- FCQGED. 2024. « La gestion des résidus de construction, rénovation et démolition (CRD) et des sols contaminés ». Front commun québécois pour une gestion écologique des déchets. 2024. https://fcqged.org/fiches_information/construction-renovation-demolition/#.
- Fitchett, Anne. 2022. « Construction waste is costly: what’s causing it on South African building sites ». The conversation. 5 octobre 2022. <https://theconversation.com/construction-waste-is-costly-whats-causing-it-on-south-african-building-sites-191112>.
- FTQ-Construction. 2022. « Plan de transition juste: Bâtir un Québec plus vert ». <https://ftqconstruction.org/general/plan-de-transition-juste-batir-un-quebec-plus-vert/>.
- Gontia, Paul, Liane Thuvander, et Holger Wallbaum. 2020. « Spatiotemporal characteristics of residential material stocks and flows in urban, commuter, and rural settlements ». *Journal of Cleaner Production* 251 (avril):119435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119435>.
- Guberman, Ross. 2022. « How is Construction & Demolition Waste Recycled | RTS ». 10 mars 2022. <https://www.rts.com/blog/how-is-construction-an-demolition-waste-recycled/>.
- Haigh, Laxmi, Caspar von Daniels, Alex Colloricchio, Ana Birliga Sutherland, Etienne Angers, Anna Heidtmann, Matthew Fraser, Marc de Wit, et Nanna Morgenroth. 2021. « Rapport sur l’incidence de circularité de l’économie ».
- Hanson, Brandon. s. d. « Recycle, Salvage and Reuse Building Materials ». Sustainable development code. Consulté le 26 septembre 2024. <https://sustainablecitycode.org/brief/recycle-salvage-and-reuse-building-materials-2/?print=1>.
- He, Zhi-hai, Bin Wang, Jin-yan Shi, Hui Rong, Hong-yu Tao, Ahmed Salah Jamal, et Xu-dong Han. 2024. « Recycling drinking water treatment sludge in construction and building materials: A review ». *Science of The Total Environment* 926 (mai):171513. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171513>.
- Hsu, Feng-Chi, Ichiro Daigo, Yasunari Matsuno, et Yoshihiro Adachi. 2010. « Estimation of Steel Stock in Building and Civil Construction by Satellite Images ». *Tetsu-to-Hagane* 96 (8): 517-23. <https://doi.org/10.2355/tetsutohagane.96.517>.
- IKO. 2023. « Asphalt Shingle Recycling Line – IKO Recycling Initiatives ». IKO. 21 avril 2023. <https://www.iko.com/na/press-releases/asphalt-shingle-recycling-line/>.
- Jiang, Zhe-Yuan, Xin-Po Sun, Ya-Qiong Luo, Xian-Lei Fu, Ao Xu, et Yu-Zhang Bi. 2024. « Recycling, reusing and environmental safety of industrial by-product gypsum in construction and

- building materials ». *Construction and Building Materials* 432 (juin):136609. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136609>.
- Joncas, Anne. 2023. « Projet pilote – Écotri sur chantier : Tri à la source des matériaux CRD et gestion des matières résiduelles sur les chantiers ».
- Klt, Héloïse. 2024. « Le réemploi de matériaux de bâtiment à l'Éscale circulaire ». Québec Circulaire. 19 juin 2024. <https://www.quebeccirculaire.org/articles/h/le-reemploi-de-matériaux-de-batiment-a-l-escale-circulaire.html>.
- Léveillé, Jean-Thomas. 2024. « « Il y a une prise de conscience de l'industrie » ». *La Presse*, 6 juin 2024. <https://www.lapresse.ca/affaires/2024-06-06/dechets-des-chantiers-de-construction/il-y-a-une-prise-de-conscience-de-l-industrie.php>.
- Lou, Bingjie, Hanlin Shen, Bo Liu, Jun Liu, et Shengen Zhang. 2023. « Recycling secondary aluminum dross to make building materials: A review ». *Construction and Building Materials* 409 (décembre):133989. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133989>.
- Luscuere, Lars Marten. 2017. « Materials Passports: Optimising value recovery from materials ». *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management* 170 (1): 25-28. <https://doi.org/10.1680/jwarm.16.00016>.
- Luscuere, Lars, Rafaela Zanatta, Douglas Mulhall, Jan Boström, et Lisa Elfström. 2019. « D7 Operational materials passports ».
- Manelius, Anne-Mette, Søren Nielsen, et Jan Schipull Kauschen. 2019. « City as Material Bank – Constructing with Reuse in Musicon, Roskilde ». *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 225 (février):012020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012020>.
- MELCCFP. 2024. « Accélérer le développement de l'économie circulaire : feuille de route gouvernementale en économie circulaire 2024-2028 ». https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/developpement-durable/strategie-gouvernementale/feuille-route-economie-circulaire_01.pdf.
- Mohammadizazi, Rezvan, et Melissa M Bilec. 2022. « Building material stock analysis is critical for effective circular economy strategies: a comprehensive review ». *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability* 2 (3): 032001. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/ac6d08>.
- Mohammadizazi, Rezvan, et Melissa M. Bilec. 2023. « Quantifying and spatializing building material stock and renovation flow for circular economy ». *Journal of Cleaner Production* 389 (février):135765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135765>.
- Mtech Consult Limited. s. d. « Waste Reduction Potential of Offsite Volumetric Construction ».
- Nganmi Tchakouto, A., T. Boukherroub, et N. Drapeau. 2023. « Vers la mise en place d'un processus de déconstruction pour maximiser le réemploi des matériaux : un cas d'étude canadien ». <https://doi.org/10.60662/NNVW-8J20>.
- Palaizines, Agathe. 2018. « Suisse : une habitation 100 % recyclable ». *L'info durable*. 5 mars 2018. <https://www.linfordurable.fr/environnement/suisse-une-habitation-100-recyclable-2394>.
- Raghu, Deepika, Martin Juan José Bucher, et Catherine De Wolf. 2023. « Towards a 'resource cadastre' for a circular economy – Urban-scale building material detection using street view

- imagery and computer vision ». *Resources, Conservation and Recycling* 198 (novembre):107140. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107140>.
- Recyc-Québec. 2021a. « Bilan 2021 de la gestion des matières résiduelles au Québec ». <https://www.recyc-quebec.gouv.qc.ca/sites/default/files/documents/bilan-gmr-2021-complet.pdf>.
- — —. 2021b. « Les résidus de construction, de rénovation et de démolition ».
- Robayo-Salazar, Rafael Andrés, Jhonathan Fernando Rivera, et Ruby Mejía de Gutiérrez. 2017. « Alkali-activated building materials made with recycled construction and demolition wastes ». *Construction and Building Materials* 149 (septembre):130-38. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.122>.
- Rotor ASBL, et Sixième continent. 2022. « Réemploi des matériaux de construction, recensement des filières et mise en oeuvre des pratiques de réemploi en France ».
- Sean Mowbray. 2024. « Lessons from Finland’s attempt to transition to a circular economy ». Mongabay. 23 janvier 2024. <https://news.mongabay.com/2024/01/lessons-from-finlands-attempt-to-transition-to-a-circular-economy/#:~:text=Though%20some%20countries%20are%20progressing,set%20its%20ambitions%20far%20higher>.
- Sharp, Jackie, Gilli Hobbs, Caroline Henrotay, Molly Steinlage, Wim Debacker, Sofie De Regel, et Camilla Sjögren. 2019. « Framework for Policies Regulations and Standards ».
- Spasić, Vladimir. 2023. « Construction waste ends up in illegal landfills even though 70% can be recycled ». *Balkan green energy news*, 23 octobre 2023. <https://balkangreenenergynews.com/construction-waste-ends-up-in-illegal-landfills-even-though-70-can-be-recycled/>.
- St-Laurent Samuel, A, M.-E Deshaies, G Richard, et E Escafit. 2017. « Guide pratique de mise en valeur du bois post-consommation ».
- Synergy Foundation. 2022. « Construction Waste Best Practices Guide ».
- Transparency market research. 2017. « Construction waste market ». Transparency market research. 2017. <https://www.transparencymarketresearch.com/construction-waste-market.html>.
- US EPA. 2024. « Sustainable Management of Construction and Demolition Materials ». Sustainable Materials Management. 23 janvier 2024. <<https://epa.gov/smm/forms/contact-us-about-sustainable-materials-management>>.
- Waste Robotics. 2024. « Maîtriser la gestion des déchets avec précision : La technologie de Waste Robotics alimentée par l’intelligence artificielle ». 2024. <https://wasterobotic.com/fr/technologie/>.
- WBCSD. 2020. « Circular Economy Action Plan (CEAP) 2020 summary for business ».
- Woollacott, Emma. 2021. « The big problem of building waste and how to tackle it ». *BBC*, 16 septembre 2021. <https://www.bbc.com/news/business-57899572>.

- Xiong, Hao, Anze Shui, Qingliang Shan, et Bin Du. 2022. « High-strength building materials by recycling porcelain stoneware waste with aluminum powder ». *Journal of Cleaner Production* 370 (octobre):133494. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133494>.
- Yang, Xining, Mingming Hu, Chunbo Zhang, et Bernhard Steubing. 2022. « Urban mining potential to reduce primary material use and carbon emissions in the Dutch residential building sector ». *Resources, Conservation and Recycling* 180 (mai):106215. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106215>.