

---

# Le Coût Global pour supporter l'Économie Circulaire en construction

---

**BOURSE ACTION-CLIMATIQUE 2023**

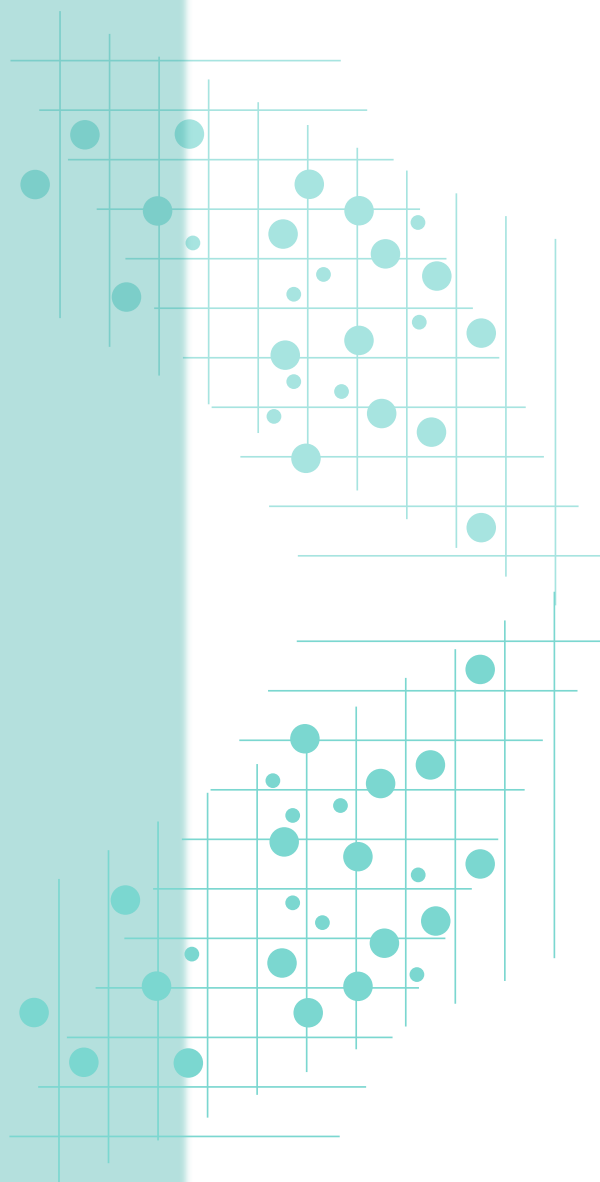
**AOÛT 2023**

---

**Adam Yousfi**

École de Technologie Supérieure (ÉTS)

Groupe de Recherche en Intégration et Développement Durable (GRIDD)



Le génie pour l'industrie



GRIDD

---

## **Remerciements**

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements aux diverses organisations et personnes qui ont permis d'aboutir à la réalisation de ce projet.

Tout d'abord, nous souhaitons exprimer notre profonde gratitude au Comité Consultatif sur les Changements Climatiques (CCCC) pour avoir mené cette initiative et fourni la bourse qui a rendu ce projet possible. Nous tenons à exprimer notre reconnaissance envers l'équipe pour sa gouvernance, suivi et support tout au long du projet :

- **Alain Webster, Président**
- **Benoit Rigaud, secrétaire**
- **Matthieu Mondou, Conseiller**
- **Véronique Bisailon, conseillère**

Nous aimerions également remercier sincèrement Érik Poirier, Directeur de recherche et professeur à l'École de technologie supérieure, et Daniel Forgues, Co-directeur de recherche, pour le soutien constant, les conseils avisés et l'encadrement bienveillant tout au long de ce projet.

Nous tenons également à remercier chaleureusement le Fonds de recherche du Québec société et culture (FRQSC) qui a permis de rendre ce projet de recherche possible.

Un remerciement spécial est adressé au Groupe de recherche en ingénierie et développement durable (GRIDD) pour son support constant, et le Centre des Études en Recherche Intersectoriel en Économie Circulaire (CERIEC) pour avoir fourni les ressources nécessaires à la réalisation de ce projet.

Enfin, nos remerciements s'étendent à toutes les personnes qui ont participé aux activités de recherche qui ont permis d'enrichir ce travail.

## ***Avant-propos***

Le Comité consultatif sur les changements climatiques et les Fonds de recherche du Québec Société et Culture (FRQSC) ont offerts aux étudiant.e.s de 3e cycle, toutes disciplines confondues, l'occasion de participer à l'avenir de l'action climatique du Québec à travers la bourse de recherche en action-climatique. Les lauréats ont l'occasion de mettre en application leurs compétences de recherche pour produire de nouvelles connaissances visant à appliquer les constats scientifiques sur les changements climatiques afin d'alimenter les politiques publiques.

Dans ce contexte, l'étude portée dans ce rapport est une investigation sur l'utilisation de l'approche du coût global pour supporter l'économie circulaire en construction. Une revue de la littérature est réalisée afin d'identifier un ensemble de bonnes pratiques sur l'application du coût global pour l'économie circulaire. Une quinzaine de professionnels œuvrant dans le domaine de la construction ont été interrogés dans le cadre d'entrevues semi-dirigées pour établir les pratiques mises en œuvre aujourd'hui. Ce rapport présente une série de recommandations issues des résultats de la recherche, dans l'objectif de stimuler l'adoption des principes de l'économie circulaire dans l'industrie de la construction québécoise en assurant la compréhension des aspects financiers qui s'y rattachent à l'aide d'une approche du coût global des actifs bâtis.

## **Table des matières**

<b><i>Sommaire</i></b> .....	<b>5</b>
<b><i>Introduction</i></b> .....	<b>10</b>
Un moment décisif pour l'industrie de la construction .....	10
Adopter une vision globale des projets de construction .....	11
Vers une industrie de la construction durable et circulaire.....	11
<b><i>Perspective de l'étude</i></b> .....	<b>12</b>
<b><i>Les concepts du coût global et de l'économie circulaire</i></b> .....	<b>14</b>
<b>Le coût global</b> .....	<b>14</b>
Une approche holistique.....	15
<b>L'économie circulaire</b> .....	<b>16</b>
Les modèles circulaires.....	17
Les Stratégies circulaires .....	18
<b><i>Exemples d'application des concepts</i></b> .....	<b>19</b>
Application du coût global : Exemple de la ZAC Jean-Zay.....	19
Un quartier circulaire : La Maillerie .....	20
<b><i>Objectifs</i></b> .....	<b>21</b>
<b><i>Méthodologie</i></b> .....	<b>22</b>
<b><i>Synergies du coût global et l'économie circulaire</i></b> .....	<b>24</b>

Que signifie un coût global circulaire ?.....	24
<b><i>L'application du coût global pour l'économie circulaire .....</i></b>	<b>26</b>
L'approche générale .....	26
<b>Monétiser les impacts environnementaux : processus .....</b>	<b>29</b>
Évaluation, quantification des impacts et définition d'indicateurs.....	29
Valorisation des impacts et bénéfices .....	29
L'expression des coûts.....	30
<b>Les lacunes de la littérature actuelle .....</b>	<b>31</b>
<b><i>Investigation sur les pratiques québécoises .....</i></b>	<b>32</b>
Un sujet encore naissant.....	32
<b>État des pratiques actuelles.....</b>	<b>35</b>
Pratiques générales .....	36
Pratiques de la maîtrise d'œuvre.....	39
Pratiques de la maîtrise d'ouvrage .....	40
<b>Les difficultés rencontrées et besoins pour améliorer les pratiques .....</b>	<b>41</b>
<b>Besoins identifiés .....</b>	<b>43</b>
<b><i>Lumière sur des recommandations pour l'économie circulaire issues de rapports québécois .....</i></b>	<b>45</b>
<b><i>Recommandations pour un coût global circulaire dans les projets.....</i></b>	<b>47</b>

<b>Axe 1 : Immiscer et accompagner une vision globale et Intégrée des projets de construction .....</b>	<b>47</b>
<b>Axe 2 : Démocratiser l'Information et mettre la connaissance à la portée des acteurs de l'industrie .....</b>	<b>49</b>
<b>Axe 3 : Établir des objectifs clairs pour une Progression Éclairée. ....</b>	<b>50</b>
<b><i>Conclusion .....</i></b>	<b>53</b>
<b><i>Références .....</i></b>	<b>54</b>

## Liste des figures

FIGURE 1: EXEMPLE DE REPARTITION DES COUTS D'UN PROJET (MEDDAT, 2009).....	13
FIGURE 2: POTENTIEL D'INFLUENCER LA VALEUR DU PROJET EN FONCTION DE SON CYCLE DE VIE (ISO, 2017).....	13
FIGURE 3: CADRE DE REFERENCE POUR LA COMBINAISON DU BIM ET DU COÛT GLOBAL. TIRÉE ET ADAPTE DE (YOUSFI ET AL., 2022) [TRADUCTION LIBRE].....	15
FIGURE 4: LES 10 MODELES CIRCULAIRES. TIRE DE (MORSELETTA, 2020) - [COULEURS MODIFIEES TRADUCTION LIBRE] .....	17
FIGURE 5: STRATEGIES CIRCULAIRES. TIRE DE (GUERRA ET AL., 2021) - [COULEURS MODIFIEES, TRADUCTION LIBRE] .....	18
FIGURE 6: « FLUX DE MATERIAUX MULTIGENERATIONNELS IDEAL » (BRADLEY ET AL., 2018) .....	25
FIGURE 7 : PROPOSITION DE PROCESSUS POUR UN COUT GLOBAL CIRCULAIRE.....	28

FIGURE 8: CADRE THEORIQUE : CLASSIFICATION POUR MONETISER LES IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX .....	31
FIGURE 9: REPONSES A LA QUESTION « AVEZ-VOUS DEJA ETE TEMOINS OU DEJA PRATIQUE L'APPROCHE DANS UN PROJET ? » .....	33
FIGURE 10: REPONSE A LA QUESTION « DANS QUEL CONTEXTE A ETE MENE L'APPROCHE ? » .....	33
FIGURE 11 : REPONSE AUX QUESTIONS SUR L'IMPACT DU COUT GLOBAL DANS LES PRATIQUES .....	33
FIGURE 12: REPONSE A LA QUESTION « POUR QUELLES RAISON(S) N'AVEZ-VOUS PAS UTILISE L'APPROCHE ? » .....	34
FIGURE 13: REPONSE A LA QUESTION « QUELS SERAIENT VOS BESOINS POUR COMMENCER A UTILISER CETTE APPROCHE ? » .....	34

## Liste des tableaux

TABLEAU I: QUESTIONS DU SONDAGE REALISE .....	32
TABLEAU II: REPARTITION DES METIERS DES PARTICIPANTS .....	35

## Sommaire

### *Enjeux et Problématique*

L'industrie de la construction fait partie des secteurs les plus impactant sur l'environnement. Le secteur des matériaux et des nouvelles constructions représente à lui seul un tiers de la consommation de ressources mondiale, génère 40% des déchets urbains et consomme 30% des énergies liées aux émissions de CO2. De plus, la demande en nouvelles constructions ne cesse d'augmenter. Dans ce contexte, l'économie circulaire a de plus en plus gagné l'intérêt de la recherche et de la pratique pour apporter des solutions permettant de maintenir la compétitivité du secteur tout en réduisant sa dépendance aux ressources naturelles. Cependant, son adoption est ralentie par un manque de compréhension des mesures permettant l'application des principes de circularité et de leurs impacts économiques dans les projets. Ainsi, il devient fondamental de se demander comment mettre en œuvre des pratiques permettant l'économie circulaire dans les projets tout en respectant des stratégies financières cohérentes avec le cycle de vie des actifs bâtis ?

---

## ***Le coût global***

Le coût global est une approche d'estimation financière qui permet de prendre en compte l'ensemble des coûts du cycle de vie d'un projet, allant ainsi au-delà du simple coût d'investissement. Cette approche représente un potentiel pour les propriétaires de connaître la valeur réelle de leur capital immobilier et de faire des choix plus durables. En effet, cette démarche explicitant les conséquences d'investissements lors des prises de décisions, va inciter les porteurs de projets à mieux considérer le projet dans son cycle de vie, suscitant une meilleure maîtrise des dépenses et bénéfices.

### **La valeur du temps**

Le coût global considère le principe de la valeur du temps et de la dépréciation monétaire, permettant de mieux anticiper les fluctuations du marché et de prendre des décisions plus éclairées pour optimiser les investissements.

### **La gestion des risques et incertitudes**

Le coût global est une analyse prédictive des flux financiers, et pour le domaine du bâtiment, sur une période pouvant dépasser les 50 ans. Cette prédiction lointaine implique inévitablement des risques et incertitudes. Il est par conséquent indispensable d'analyser les risques pour des choix avisés, mais aussi pour l'analyste mandaté qui

porte une certaine responsabilité quant à la fiabilité de ses résultats qu'il présente.

### **Une approche holistique**

L'un des plus grands avantages du coût global est son approche « étendue » qui permet d'internaliser des externalités d'un projet. Autrement dit, cela permet d'intégrer dans les coûts les effets d'un projet sur son environnement et ainsi évaluer sa valeur réelle. Ainsi, une étude précédente a révélé que le coût global permettait de déployer d'autres concepts, tels que l'économie circulaire, tout aussi bénéfiques pour optimiser le processus de prise de décision dans les projets

### ***L'économie circulaire***

En opposition aux modèles linéaires traditionnels « prendre-utiliser-jeter », l'économie circulaire est un modèle économique visant à remplacer la fin de vie d'un élément par des stratégies permettant de prolonger sa durée de vie. Ainsi, l'adoption de ce modèle pour le secteur de la construction vise à mettre en œuvre des stratégies optimisant l'utilisation et le choix des ressources afin de mener des projets respectueux de l'environnement et de ses occupants.

---

## Les stratégies circulaires

Il a été défini aujourd'hui dix stratégies permettant l'optimisation de l'utilisation des ressources dans les projets. Ces stratégies appelées les « 10R », sont, dépendamment du contexte, applicables à chaque étape du cycle de vie d'un élément. Les 10R sont les suivants :

R0- Refuser

R1- Repenser

R2- Réduire

R3- Réutiliser

R4- Réparer

R5- Rénover

R6- Refabriquer

R7- Reconvertir

R8- Recycler

R9-Récupérer

## Méthodologie

Cette étude vise à combiner les concepts de coût global et d'économie circulaire dans l'industrie de la construction pour promouvoir une gestion durable des projets. Elle adopte une approche qualitative basée sur la théorie ancrée, qui permet de développer une compréhension théorique à partir de données empiriques. La méthodologie comprend une revue de la littérature pour créer un cadre théorique, un sondage auprès de professionnels pour explorer les connaissances actuelles, et des entretiens semi-structurés pour comprendre les perceptions et expériences. Les questions clés abordées incluent la définition du coût global, ses limites et améliorations possibles, ainsi que son utilisation pour internaliser les

coûts environnementaux. En fin de compte, l'étude propose des recommandations basées sur les témoignages de professionnels québécois pour encourager l'adoption des principes de coût global et d'économie circulaire dans l'industrie de la construction au Québec.

## Synergies des concepts

Le coût global et l'économie circulaire sont deux approches considérant un élément dans le contexte de son cycle de vie, ainsi, de plus en plus d'études démontrent les avantages de son utilisation avec le coût global, qui s'avèrent complémentaires et créatrices de valeur. Afin de mettre en avant cette création de valeur et lui redonner l'importance qui lui est dû, nous proposons d'adopter la définition suivante pour un « coût global circulaire » :

**« Analyse holistique des coûts pertinents du cycle de vie d'un projet et de ses externalités dans une optique d'optimisation des ressources, en considérant la fin de vie comme un exercice de création de valeur ».**

## Expression de la valeur

Cette synergie donnant lieu à un coût global circulaire a pour objectif de faire ressortir la valeur de l'économie circulaire et de la monétiser. Ce processus passera par l'estimation des implications financières de la mise en œuvre de stratégies circulaires et de leurs bénéfices.

---

## ***Applications***

L'application d'un coût global circulaire est aujourd'hui généralement réalisée avant la prise de décision qui va définir la conception d'un produit ou système. Le processus général est assez simple, et se résume au choix de scénarios de conceptions, à l'analyse de leur circularité, puis de leur coût global. Ces données vont ensuite permettre d'analyser l'éco-efficacité, mesurant le ratio entre les coûts d'investissements pour une solution et les bénéfices circulaires qu'elle apporte. Cependant, une lacune est présente aujourd'hui, à la fois dans la littérature et la pratique, qui est la difficulté à mesurer et monétiser les bénéfices circulaires des projets afin de pouvoir compter ces coûts dans le coût global.

### **Évaluation environnementale et circulaire**

Les bénéfices de l'économie circulaire sont à mesurer au niveau des ressources mais aussi des impacts socio-environnementaux. L'évaluation passera donc par deux classes : L'évaluation de la circularité, par des méthodes qui vont faire l'inventaires des flux de ressources, et l'évaluation environnementale par des méthodes qui vont faire l'inventaire des flux d'impacts.

### **Valorisation des impacts et bénéfices**

La quantification des impacts environnementaux et leur traduction en un indice interprétable nous ouvre la voie vers la valorisation

monétaire souhaitée. Dans ce cadre, nous avons identifié deux approches méthodologiques pour valoriser ces indicateurs : L'approche théorique, et des marchés, se basant sur les préférences déclarées des utilisateurs ou sur la valeur économique des biens et services environnementaux.

### **Classification des coûts**

Des coûts théoriques ou réels, issus des approches théoriques et de marchés sont des coûts environnementaux qui tiennent compte de différents aspects : Les transactions, le type de coûts, et finalement, les différentes parties responsables des transactions.

## ***Exploration des pratiques au Québec***

### **Un sujet encore naissant**

Dans un sondage réalisé auprès de l'Association des Estimateurs et Économistes du Québec, 76% n'ont jamais pratiqué le coût global dans leurs projets et la moitié de ces derniers n'avaient jamais entendu parler de l'approche. La littérature possède beaucoup de théorie sur ces sujets, mais en pratique, ils s'avèrent être encore très peu utilisés. Cependant, le contexte actuel fait que de plus en plus d'intérêt apparaît pour ces sujets.

## Les difficultés rencontrées

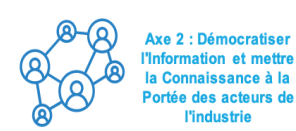
Pour l'approche du coût global, les professionnels interrogés sont formels, la plus grande difficulté réside dans l'accès aux données sur les durées de vies des éléments. Pour l'internalisation des coûts environnementaux, la plus grande difficulté est le manque de sensibilisation des professionnels qui pour le moment se concentrent surtout sur la gestion de contrainte environnementales. Les pratiques sont limitées par un manque de méthodologies et de données. Et de manière plus générale, les contraintes budgétaires et les politiques du plus bas soumissionnaire sont les principales barrières organisationnelles qui empêchent les choix durables et donc l'intérêt de leur considération et estimation.

## Recommandations

Les résultats de l'étude ont permis de proposer une série de recommandations articulées autour de trois axes visant à encourager une vision globale des projets, faciliter l'accès à l'information et la connaissance et à établir des objectifs de progression clairs pour l'industrie.



1. Sensibiliser et former
2. Inciter par des mesures fiscales
3. Mener des projets pilotes
4. Encourager la collaboration et l'échange
5. Engager les clients et les municipalités



1. Promouvoir la recherche et l'éducation
2. Faciliter la collecte et la diffusion de données fiables
3. Standardiser les pratiques
4. Encourager l'utilisation de nouvelles technologies



1. Définir une stratégie circulaire collective
2. Réglementations et incitations
3. Intégrer des critères circulaires dans les appels d'offres
4. Toucher le plus grand nombre grâce aux permis de construire

## Conclusion

L'industrie de la construction est à l'aube d'un changement de paradigme dans ses pratiques. Il est donc primordial d'accompagner ce changement en promouvant des méthodes innovantes qui assureront la productivité du secteur tout en minimisant l'impact sur l'environnement et les ressources naturelles. Ce rapport présente donc des recommandations pour le développement de politiques et stratégies afin de supporter l'approche en coût global pour supporter l'économie circulaire en construction.

---

## Introduction

### Un moment décisif pour l'industrie de la construction

L'industrie de la construction fait partie des secteurs les plus impactant sur l'environnement. Le secteur des matériaux et des nouvelles constructions représente à lui seul un tiers de la consommation de ressources mondiale, génère 40% des déchets urbains et consomme 30% des énergies liées aux émissions de CO2 (Ellen MacArthur Fondation & ARUP, 2019). De plus, la demande en nouvelles constructions ne cesse d'augmenter, et malgré les investissements pour réduire les émissions du secteur et sa décarbonisation, le rapport sur la situation mondiale des bâtiments et de la construction publié par l'Organisation des Nations Unies (ONU) révèle que le secteur n'est pas en phase d'atteindre l'objectif de zéro émission nette d'ici à 2050, définit dans l'accord de Paris (United Nations Environment Programme (2022), 2022). La demande en nouvelles construction en augmentation fait qu'il devienne urgent de repenser les pratiques qui ne correspondent plus à la situation climatique que nous vivons aujourd'hui.

Par ailleurs, l'industrie de la construction est en phase de changement pour stimuler sa productivité, en mettant notamment l'accent sur l'adoption des nouvelles technologies de l'information. L'émergence d'outils de conceptions assistées par ordinateurs (CAO) et de modélisation de l'information des bâtiments (BIM) présentent un potentiel d'amélioration important pour l'industrie. Le rapport McKinsey de 2020 : "The next normal in construction", prévoit que lorsqu'elles seront largement adoptées, ces nouvelles technologies auront un impact rapide et radical dans les nouvelles pratiques mises en œuvre (McKinsey & Company, 2020).

Il est donc crucial de s'assurer que ce changement réponde aux enjeux climatiques tout en améliorant la productivité du secteur, et sans oublier de garantir des infrastructures de qualité et fonctionnelles pour le bien-être de ses utilisateurs. Ainsi, aujourd'hui est un moment décisif pour la mise en place de systèmes de gouvernance dirigeant l'industrie vers une innovation responsable, offrant des biens et services améliorant les activités du secteur, respectant l'environnement et la planète (Voegtlin & Scherer, 2017).

---

## Adopter une vision globale des projets de construction

L'industrie de la construction est un secteur connu pour être très fragmenté, avec des projets uniques, divisés en plusieurs corps d'états, regroupant des acteurs différents, eux-mêmes impliqués dans plusieurs projets (Bertelsen & Sven, 2003). Cette fragmentation affecte l'ensemble des objectifs de projets, tant en termes de qualité, productivité ou rentabilité. Plus encore, c'est un frein important à l'adoption d'innovations et à l'amélioration de ses pratiques (McKinsey & Company, 2020). Bien que le BIM soit promis d'apporter une solution pour pallier le manque de collaboration dans les projets, cette fragmentation est profondément ancrée dans les pratiques et un changement culturel, doit se faire pour se défaire de cette fragmentation.

Cette séparation au sein de l'industrie, apparaissant entre les différentes phases des projets et des différents métiers et intervenants, est la source de son inefficacité. Aussi, plus globalement, un besoin à l'interdisciplinarité, l'interaction entre différents secteurs, se fait ressentir de la part des décideurs publics et dans la recherche, afin de coordonner les besoins et solutions à mettre en œuvre pour répondre aux enjeux actuels. Ainsi, la

fragmentation de l'industrie est un frein à cette interdisciplinarité et limite la maîtrise du contexte global de la construction. Il est donc nécessaire de réparer cette fracture pour un développement durable de l'économie. Comme évoqué précédemment, la numérisation du bâtiment est vu comme le futur de la construction. Le BIM, au centre de toute cette numérisation représente un ensemble de procédés, ... Une meilleure représentation des données favorisera la collaboration entre les acteurs mais aussi l'interdisciplinarité. Cependant, il est nécessaire d'apporter un changement dans la vision des projets, les considérant dans leur aspect global dès les phases de conception.

## Vers une industrie de la construction durable et circulaire

Les statistiques montrent que l'industrie de la construction est l'une des plus polluante et consommatrice en ressources (Ellen MacArthur Foundation & ARUP, 2019 ; McKinsey & Company, 2020). Ainsi, le concept d'économie circulaire a de plus en plus gagné l'intérêt de la recherche et de la pratique pour apporter des solutions permettant de maintenir la compétitivité du secteur tout en réduisant sa dépendance aux ressources naturelles (Norouzi, Chafer, Cabeza, Jimenez, & Boer, 2021). Son application a de plus démontré un potentiel pour accroître le PIB et la création d'emplois dans différents secteurs (GMT

---

& I-EDDEC, 2018). La fondation Ellen McArthur, définit plus précisément le concept comme « *un système industriel réparateur par intention; visant à s'appuyer sur les énergies renouvelables; minimiser, suivre et éliminer l'utilisation de produits chimiques toxiques; et éliminer les déchets grâce à une conception soignée*» (Ellen MacArthur Fondation, 2013). L'économie circulaire apporte une vision globale des projets dès leur conception. L'adoption de ce modèle économique inciterait une réflexion des projets dans leurs contextes pour trouver des solutions exploitant la symbiose industrielle, définie par l'OQLF comme un « Réseau d'organisations et de collectivités engagées dans une dynamique d'échange de matières résiduelles et de ressources qui est inspirée du fonctionnement des écosystèmes ». C'est par cette symbiose que les porteurs de projets pourront donc réduire les impacts de leurs projets tout en tirant des bénéfices.

Cependant, l'adoption de l'économie circulaire est, ralentie, entre autres, par un manque de compréhension des mesures permettant l'application des principes de circularité et de leurs impacts économiques dans les projets (Braakman, Bhochohibhoya, & de Graaf, 2021 ; Charef, Morel, & Rakhshan, 2021). Ainsi, il devient fondamental de se demander comment mettre en œuvre des pratiques permettant l'économie circulaire dans les projets tout en

respectant des stratégies financières cohérentes avec le cycle de vie des actifs bâtis ?

## Perspective de l'étude

La transition climatique représente un coût dont les propriétaires et investisseurs immobiliers doivent prendre en considération : ceci implique une vision d'investissement à long terme et éclairée. Les bâtiments sont des biens disposant d'une longue durée de vie et qui nécessitent un entretien et une maintenance régulière qui demandera un certain coût (MEDDAT, 2009). La Figure 1 présente un exemple de répartition des coûts d'un bâtiment durant son cycle de vie, montrant que les coûts d'exploitation et de renouvellements représentent plus de la moitié des coûts du cycle de vie. Ainsi, nous pouvons voir qu'en comparaison avec les phases de conception et de construction, les activités après la livraison des bâtiments sont les plus importantes en termes de coûts et de consommations énergétiques (Farr & Faber, 2018 ; Kishk et al., 2003). Des choix avisés sont primordiaux pour réduire ces coûts. La Figure 2 nous indique que le plus haut potentiel pour améliorer la valeur d'un bâtiment réside dans les premières phases d'un projet. C'est donc dès le début du projet qu'il est nécessaire de prendre en compte le cycle de vie du bâtiment

afin d'influencer de la meilleure manière les futurs coûts et générer de la valeur.

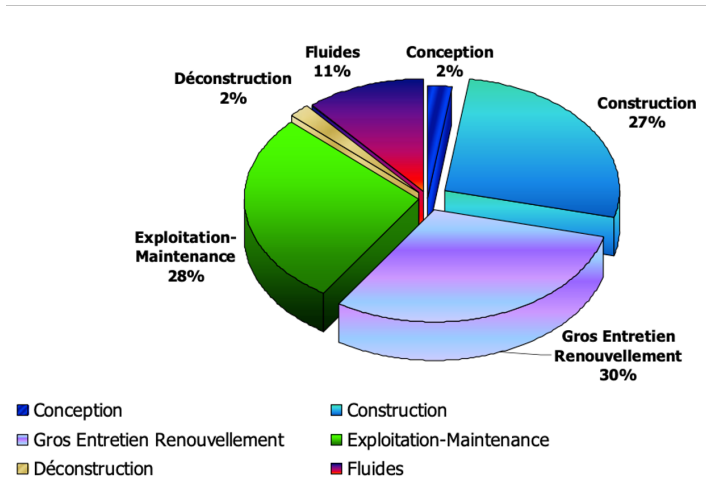


Figure 1: Exemple de répartition des coûts d'un projet (MEDDAT, 2009)

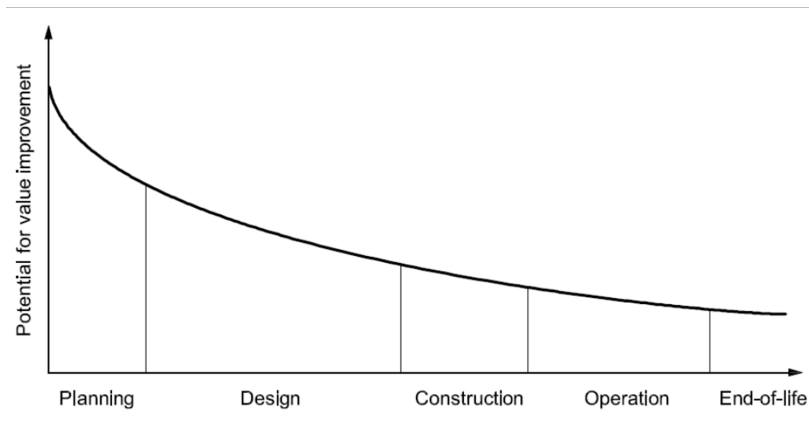


Figure 2: Potentiel d'influencer la valeur du projet en fonction de son cycle de vie (ISO, 2017)

Face à ces enjeux, l'étude aborde le concept de coût global pour contribuer à la transition climatique du secteur en démontrant les bénéfices économiques de choix durables. Grâce à cette étude, nous établirons une base théorique et pratique de l'utilisation du coût global pour contribuer à l'adoption de l'économie circulaire, qui offre de nombreux bénéfices environnementaux et économiques. De plus, le point de vue du coût global étant peu répandu au Québec, cette recherche contribuera à l'enrichissement de la diversité de la base de connaissances scientifique et pratique. Les résultats mettront de l'avant l'importance de la prévision des coûts de construction pour la justification de choix écologiques dans les projets de construction. Pour renforcer l'adoption de ce concept et celui de l'économie circulaire, l'implication gouvernementale est impérative afin de guider le secteur avec un cadre stratégique et réglementaire concret. Ce rapport guidera l'application des connaissances issues de l'étude avec des recommandations qui décriront des solutions pour la mise en œuvre de stratégies, d'orientations et d'instruments politiques, qui useront des concepts durables étudiés dans ce projet.

En unissant ces deux concepts, nous aspirons à repenser la manière dont nous concevons, construisons et gérons les infrastructures. L'association du coût global et de l'économie circulaire peut catalyser

---

une transformation profonde de l'industrie de la construction, axée sur une utilisation plus efficace des ressources, une réduction significative des déchets, et une meilleure prise en compte des implications économiques et environnementales sur toute la durée de vie d'un projet. Dans ce rapport nous présenterons une revue de la littérature présentant les concepts du coût global et de l'économie circulaire puis allons analyser leurs synergies. Nous avons mené une investigation auprès de professionnels pour connaître les pratiques actuelles sur le sujet. Finalement, nous présenterons une série de recommandations pour encourager ces pratiques dans les projets.

## Les concepts du coût global et de l'économie circulaire

### Le coût global

Le coût global est une approche d'estimation financière qui permet de prendre en compte l'ensemble des coûts, directs et indirects, d'un projet sur l'ensemble de son cycle de vie (Farr & Faber, 2018). Le concept a émergé dans les années 1930, puis s'est développé dans le milieu des années 1960 dans le cadre de l'acquisition d'équipements militaires (Kishk et al., 2003). Plus tard dans les années 1970, il a été utilisé pour évaluer et comparer les avantages

de différentes conceptions énergétiques de bâtiments (Cole & Sterner, 2000). Aujourd'hui, l'approche est régie par la norme «ISO 15686-5: Bâtiments et biens immobiliers construits – Prévision de la durée de vie partie 5 : Calcul du coût du coût global » et est définie par la norme comme « la prise en compte des coûts pertinents depuis la phase d'acquisition jusqu'à la démolition. De manière générale, elle est utilisée pour comparer deux solutions ou estimer des coûts futurs » (ISO, 2017).

Le coût global considère le principe de la valeur du temps et de la dépréciation monétaire. L'approche utilise un taux d'actualisation pour ramener des coûts à leur valeur pour une date choisie. Actualiser les coûts est une manière d'évaluer les conséquences d'investissements dans un futur qui est par définition empli d'incertitudes. En déterminant ce taux d'actualisation, le but est de trouver un équilibre intergénérationnel dans la consommation des ressources et le bien-être de chacun, et de faire les meilleurs choix d'investissement (Gollier, 2012 ; Weitzman, 1998). En considérant des facteurs économiques tels que l'inflation, les tendances du marché immobilier ou encore l'évolution des taux d'intérêt, les décideurs peuvent mieux anticiper les fluctuations du marché et prendre des décisions plus éclairées pour optimiser leurs investissements. Cette vision offre une perspective plus complète et réaliste pour évaluer les bénéfices

potentiels, les risques et les opportunités associés à chaque scénario d'investissement.

Le coût global est une analyse prédictive des flux financiers, et pour le domaine de la construction, sur une période pouvant dépasser facilement les 50 ans. Cette prédiction lointaine implique inévitablement des risques et incertitudes pouvant être dus à l'imprévisibilité du marché, l'évolution technologique, au changement climatique ou à des aléas divers. Ainsi, le défi inhérent du coût global est de faire les bonnes hypothèses, si possible au plus tôt dans le projet lorsque peu d'informations sont connues (Pearce, Sanford Bernhardt, & Garvin, 2010). Des erreurs de prédictions peuvent causer des possibilités de sur- ou-sous-estimation des résultats, ce qui peut par exemple mener à une mauvaise planification causant des manques de financement pour les projets (Jafari, Valentin, & Russell, 2014)). L'analyse des risques est donc indispensable et fait partie intégrante de l'approche du coût global. Cette démarche est utile à la fois pour le décideur qui veut faire des choix avisés mais aussi pour l'analyste mandaté qui porte une certaine responsabilité quant à la fiabilité de ses résultats qu'il présente.

## Une approche holistique

L'un des plus grands avantages du coût global est son approche « étendue » qui permet d'internaliser des externalités du projet (ISO, 2017). Les externalités sont définies par l'OQLF comme un « effet négatif ou positif de l'acte de production ou de consommation d'un agent économique sur un autre qui échappe à toute transaction sur le marché ». Autrement dit, cela permet d'intégrer dans les coûts les effets d'un projet sur son environnement et ainsi évaluer sa valeur réelle (Cole & Sterner, 2000 ; Kishk et al., 2003). Avec le BIM comme facilitateur, une précédente étude a révélé qu'il permettait de déployer d'autres concepts tout aussi bénéfiques pour optimiser le processus de prise de décision dans les projets (Figure 3).

Processus	-Prises de décisions	Le coût global compare les coûts du cycle de vie pour identifier les meilleures alternatives Le BIM améliore la collaboration, la gestion des projets et leur compréhension
Facilitateurs	-Apprentissage automatique -Algorithmes génétiques	Des facilitateurs peuvent améliorer l'usage du coût global Le BIM permet de tirer parti plus facilement des facilitateurs
Méthodologies	-Gestion des actifs -Analyse en cycle de vie -Analyse sociale du cycle de vie -Optimisation multi-objectifs	Le coût global supporte les méthodologies en tant qu'outil de comparaison financier Le BIM facilite l'accès et la gestion des données, les simulations et l'automatisation
Concepts	-Économie Circulaire -Carboneutralité -Ingénierie de la valeur -Gestion des ressources et	Le coût global devient un indicateur financier supportant d'autres concepts Le BIM facilite la représentation des données et l'interprétation des analyses
Approche	Combinaison du BIM et du coût global : Le BIM facilite l'usage du coût global dans les projets	

Figure 3: Cadre de référence pour la combinaison du BIM et du Coût global. Tirée et adapté de (Yousfi et al., 2022) [Traduction libre]

---

Parmi ces concepts, nous retrouvons celui de l'économie circulaire que nous étudions aujourd'hui. Le coût global va alors jouer un rôle d'outil de mesure financier pour les indicateurs de ce concept. Plus encore, il est tout aussi possible de combiner cette approche avec des méthodes telles que l'Analyse du Cycle de Vie, permettant une évaluation encore plus large (Yousfi, Poirier, & Forgues, 2022).

## L'économie circulaire

L'origine de l'expression « économie circulaire » et de son concept est un sujet de discussion encore non éclairé, car nous pouvons en trouver des morceaux à travers plusieurs études (Murray, Skene, & Haynes, 2017). Néanmoins, nous savons que l'économie circulaire fonde en premier lieu ses principes sur l'économie de l'environnement et de l'écologie qui considèrent que le recyclage devrait être constamment pratiqué, et que l'environnement est une ressource pour l'économie. Dans un second temps, les pratiques circulaires proviennent en grande partie du mouvement de l'écologie industrielle dont les procédés sont orientés vers une symbiose des industries où les déchets des uns deviennent les matériaux des autres (Antikainen, Lazarevic, & Seppälä, 2018 ; Murray et al., 2017). Ces fondements ont été approfondis selon les écoles de pensées de la conception régénérative, l'économie de performance, la vision « berceau-au-

berceau », ainsi que le biomimétisme, donnant lieu aux principes de l'économie circulaire que nous connaissons aujourd'hui (Ellen MacArthur Fondation, 2013). De plus en plus de pays ont adoptés les principes de l'économie circulaire pour construire politiques et stratégies, les plus importantes étant celles des pays Européens, dirigés par une politique de la commission européenne, la Chine, le Japon et la Corée du sud (Halog & Anieke, 2021).

Le Québec ne dispose pas encore de politique ou stratégie circulaire provinciale, cependant, de plus en plus d'initiatives voient le jour et encouragent la transition vers l'économie circulaire. Aussi, dans un objectif de standardisation, l'Office Québécois de la Langue Française définit précisément l'économie circulaire comme un « Système de production, d'échange et de consommation qui repose sur des stratégies permettant d'optimiser l'utilisation des ressources à chacune des étapes du cycle de vie des produits, dans le but de réduire les impacts environnementaux et d'améliorer le bien-être des individus et des collectivités ». L'économie circulaire vise à remettre en question, le modèle « prendre utiliser jeter » actuel qui existe dans la plupart des industries, et qui démontre aujourd'hui ses limites (Cui, 2021). L'économie circulaire apporte un nouveau paradigme et remplace le concept de fin de vie par des processus visant à réduire,

réutiliser, recycler et récupérer des matériaux dans chaque phase du cycle de vie des projets (Kirchherr, Reike, & Hekkert, 2017).

Son application en construction peut être catégorisée selon trois modèles d'affaires : la conception circulaire, l'exploitation circulaire et la récupération circulaire (Carra & Magdani, 2017). Ces modèles ont pour objectif de maximiser la valeur des éléments et matériaux à chaque phase des projets se basant sur des activités de rétention de valeur. Les principes de conceptions vont encourager à utiliser des matériaux locaux, durables et avec un haut potentiel de récupération, des principes de conceptions et de constructions peu énergivores, modulaires et adaptables. Les modèles d'exploitation vont encourager la gestion circulaire des déchets produits et du bâtiment en assurant son efficacité et sa durabilité grâce à un système de gestion de l'exploitation et la maintenance. Les modèles de récupération vont assurer l'identification et le traitement des éléments du bâtiment qui pourront être récupérés, réemployés ou recyclés (Carra & Magdani, 2017 ; Rahla, Mateus, & Bragança, 2021).

### Les modèles circulaires

Il a été défini dix modèles permettant l'optimisation de l'utilisation des ressources dans les projets de construction (Morsetto, 2020 ;

Potting, Hekkert, Worrell, & Hanemaaijer, 2017). Ces modèles appelés les « 10R », sont, dépendamment du contexte, applicables à chaque étape du cycle de vie d'un élément et permettent d'adopter une orientation pour les objectifs du projet.

Utilisation et fabrication plus intelligentes des produits	R0	Refuser	Rendre le produit redondant en abandonnant sa fonction ou en proposant la même fonction avec un produit radicalement différent
	R1	Repenser	Rendre l'utilisation des produits plus intensive (par exemple en partageant des produits ou en mettant sur le marché des produits multifonctionnels).
	R2	Réduire	Accroître l'efficacité de la fabrication ou de l'utilisation des produits en consommant moins de ressources naturelles
Prolonger la durée de vie du produit et de ses pièces	R3	Réutiliser	Réutilisation par un autre consommateur d'un produit mis au rebut encore en bon état et remplissant sa fonction d'origine
	R4	Réparer	Réparation et entretien du produit défectueux afin qu'il puisse être utilisé avec sa fonction d'origine
	R5	Rénover	Restaurer un ancien produit et le mettre à jour
	R6	Refabriquer	Utiliser des pièces d'un produit mis au rebut dans un nouveau produit ayant la même fonction
	R7	Reconvertir	Utiliser des produits mis au rebut ou sa partie dans un nouveau produit avec une fonction différente
Application utile des matériaux	R8	Recycler	Traiter les matériaux pour obtenir la même qualité (qualité supérieure) ou une qualité inférieure (qualité inférieure)
	R9	Récupérer	Incinération de matériel avec récupération d'énergie

Figure 4: Les 10 modèles circulaires. Tiré de (Morsetto, 2020) - [couleurs modifiées Traduction Libre]

## Les Stratégies circulaires

Les modèles circulaires précédemment définis sont appliqués dans la construction au travers de stratégies, traduisant des méthodologies d'applications. Ces stratégies s'appliquent tant pour des projets de construction neuves que de rénovations (Guerra et al., 2021). Différentes stratégies sont décrites dans la figure ci-dessous (Figure 5).

Stratégies	Phases	Définitions
<b>Conception pour le désassemblage</b>	Conception	Conception visant à faciliter la récupération et la réutilisation des matériaux et des composants en fin de vie par le biais du désassemblage.
<b>Conception pour la modularité</b>	Conception	Conception permettant de réaliser un système ou un produit modulaire dont les éléments et les matériaux sont fonctionnellement indépendants.
<b>Spécifier des matériaux réutilisables et recyclables</b>	Conception	Concevoir pour utiliser des matériaux secondaires et spécifier des options de fin de vie pour les matériaux utilisés
<b>Conception pour la refabrication</b>	Conception	Conception pour soutenir l'idée de refabrication du système, ce qui signifie fermer la boucle de fabrication en ramenant les éléments du système à la production.

<b>Banques de matériaux</b>	Construction	Traiter les stocks en cours d'utilisation, tels que les bâtiments, comme des ressources utiles et des mines de matériaux pouvant répondre aux demandes futures de matériaux.
<b>Adoption de processus efficaces</b>	Construction	Le produit ou le processus est développé de manière plus efficace (par exemple, en réduisant la production de déchets, la consommation de matériaux ou le temps de traitement).
<b>Les déchets comme ressource</b>	Construction	Utilisation des déchets ou des sous-produits d'un système ou d'un produit pour fournir les matériaux nécessaires à un nouveau système ou produit.
<b>Ressources Gestion des données</b>	Fin de vie	Suivi des matériaux consommés et gestion de l'utilisation des ressources et de la production de déchets.
<b>La logistique inverse des ressources</b>	Fin de vie	Déplacement des ressources qui sont devenues des déchets vers une nouvelle production afin de réduire l'utilisation de matériaux vierges et l'impact sur l'environnement.

Figure 5: Stratégies circulaires. Tiré de (Guerra et al., 2021) - [couleurs modifiées, Traduction Libre]

## Exemples d'application des concepts

### Application du coût global : Exemple de la ZAC Jean-Zay



#### Le projet

La « ZAC (Zone d'Aménagement Concertée) Jean-Zay » est un projet d'aménagement urbain à Antony, en France, mené pour proposer un nouveau quartier résidentiel et des équipements publics adaptés aux besoins de la population. L'objectif derrière ce projet est de favoriser la mixité sociale, et une réflexion de développement durable, avec une priorité pour le développement piétonnier. Le projet concerne la construction de logements étudiants, la réalisation d'habitats résidentiels ainsi que des surfaces commerciales et de services ainsi que des équipements publics.



#### La mise en œuvre du coût global

Le coût global réalisé dans ce projet entre dans le cadre d'une recherche exploratoire qui a permis de proposer un modèle d'évaluation des programmes d'aménagements. L'étude menée a permis d'analyser différents scénarios, à savoir, l'amélioration de qualité de logements, la substitution de logements privés en logements sociaux, l'augmentation de la surface en espaces verts publics et l'augmentation d'offres de transports

en communs. L'analyse de ces scénarios a permis d'évaluer et comparer le coût global dont sera responsable la collectivité et le pouvoir d'achat des ménages résidents. Supportée par une étude d'impacts, l'analyse a permis de quantifier et valoriser le coût des déplacements dans la ZAC, accompagnés des externalités induites telles que les émissions de CO2 valorisées grâce à une taxe carbone, ou l'activité locale valorisée par les emplois créés dans le quartier.



#### Les bénéfices de l'approche

Les bénéfices de la mise en œuvre du coût global sont multiples pour la prise de décision et la gestion du quartier :

- « *Un bilan des investissements et du coût global direct réparti par acteur du projet (collectivité territoriale, aménageur, promoteurs, ménages, gestionnaire de parc social, entreprises présentes sur la zone aménagée, société et Etat).*
- *Un bilan socioéconomique [...] mettant en évidence la valeur créée par le projet.*
- *Un bilan des flux monétaires pour la collectivité territoriale*
- *Un bilan environnemental*
- *Un bilan en emploi (généré ou maintenu). »*

Sources du projet : <https://www.urbanisme-puca.gouv.fr/evaluation-en-cout-global-d-un-projet-et-d-une-a1492.html>

Source de l'étude : <https://www.valleesud-amenagement.fr/projet/quartier-jean-zay-a-antony/>

## Un quartier circulaire : La Maillerie



### Le projet

Le projet concerne le réaménagement d'un quartier avec la déconstruction d'un site de bâtiments logistiques situé dans la métropole lilloise, en France, dans une démarche d'économie circulaire. L'un des points forts de cette initiative est la réflexion en amont pour réfléchir la démarche grâce à l'identification des matériaux sur site pour limiter les déchets de démolition et valoriser les matériaux récupérés.



### La mise en œuvre de l'économie circulaire

Le projet a fait l'objet d'une déconstruction sélective grâce à l'identification préalable, et a permis de récupérer des matériaux tels que des aciers d'armatures, des câbles électriques, des poutres, des luminaires industriels, des racks de stockage, des tuyaux, des garde-corps métalliques, des escaliers en bois, etc. Ces équipements et matériaux ont été réemployés, réutilisés, recyclés ou valorisés énergétiquement. Le chantier, était lui aussi dans une démarche zéro déchets avec des objectifs de réductions de déchets à la source et le recyclage des matériaux sortants.



### Les bénéfices de l'approche

- La déconstruction sélective et la reconversion d'une infrastructure logistique a permis d'éviter l'émission de 1 350 tCO2 éq.
- 40 000 tonnes de béton issues de la déconstruction ont été revalorisés, avec pour objectif de réutiliser 100% des agrégats.
- 10 000 m2 de parquet et 4500 luminaires ont été récupérés.
- Le projet a permis de créer des opportunités de partenariats pour la valorisation ou le réemploi des équipements et matériaux.

Source du projet : <https://lamaillerie.fr/fr>

---

## Objectifs

Les concepts du coût global et de l'économie circulaire ont démontré leur efficacité au sein de l'industrie de la construction, comme en témoignent les études de cas précédemment exposées. Notre démarche consiste donc à établir de manière cohérente les bases d'une combinaison de ces deux approches afin de proposer une voie novatrice et durable dans le domaine de la construction. Cette synergie entre le coût global et l'économie circulaire présente le potentiel de générer d'importants avantages, tant sur le plan de la rentabilité que de la préservation environnementale, ainsi qu'en termes de performances à long terme pour les projets de construction. Dans ce contexte, ce rapport a pour finalité de présenter une série de recommandations à destination des décideurs publics et gouvernementaux pour la mise en œuvre de stratégies qui encourageront la considération des coûts du cycle de vie des projets de constructions, et ce, dans le but de maîtriser les implications financières des prises de décisions. Pour atteindre notre but, nous avons défini trois objectifs qui nous mèneront ensuite à notre finalité.

**Objectif 1 :** Identifier et formaliser les meilleures pratiques de mise en œuvre du coût global et de l'économie circulaire. L'objectif est d'établir un cadre d'application de mesures circulaires selon le coût global des projets, qui soit assez concret pour être facilement compréhensible, et exploitable pour réaliser notre état de situation dans l'objectif suivant.

**Objectif 2 :** Développer une vision intégrée du coût global dans une perspective d'économie circulaire. Nous mènerons des entrevues auprès de professionnels ayant une certaine expérience dans l'approche en coût global et l'estimation de coûts environnementaux. Nous enquêterons sur les pratiques mises en œuvre, le choix des mesures adoptées et sur les synergies et arrimages possibles des deux concepts.

**Objectif 3 :** Identifier des pistes de solutions pour faciliter la mise en œuvre du coût global supportant l'économie circulaire dans l'industrie québécoise de la construction. Au travers des entrevues réalisées, nous investiguerons sur les barrières et besoins des professionnels pour intégrer une approche en coût global dans leurs pratiques et la considération de stratégies circulaires.

---

## Méthodologie

L'ambition de cette étude est de rassembler les pratiques actuelles pour l'application des deux concepts discutés afin de proposer une approche permettant d'en exploiter le potentiel pour concevoir et gérer des projets de construction de manière durable. Notre volonté est d'établir une base théorique guidant à la combinaison de ces approches en nous basant sur leurs complémentarités précédemment observées. Pour ce faire, une approche qualitative est adoptée afin de comprendre le phénomène dans son contexte d'application (Brent & Leedy, 1990). Plus particulièrement, ce projet entrera dans une méthodologie de théorie ancrée qui va nous permettre générer une notre cadre théorique à partir de données empiriques.

La théorie ancrée est une méthode de recherche qualitative qui permet de développer une compréhension théorique abstraite d'une expérience étudiée. Elle est basée sur la collecte et l'analyse de données, plutôt que sur une théorie préconçue (Charmaz, 2006). En utilisant cette approche, nous tenterons de comprendre comment une méthodologie de coût global circulaire pourrait s'appliquer et surtout s'intégrer dans les pratiques québécoises. La démarche globale s'agencera de la manière suivante :

**Revue de la littérature** : La revue de la littérature sera utilisée comme base pour informer la collecte de données et pour aider à affiner l'analyse des données de terrain. Les résultats de la revue de la littérature prendront la forme d'un cadre théorique classifiant les concepts et les méthodologies d'estimation des coûts de stratégies circulaires et environnementales.

**Sondage** : Dans le cadre de cette étude, l'objectif principal était d'explorer l'état actuel des connaissances et des pratiques liées au coût global, en se concentrant spécifiquement sur les économistes et les estimateurs. Au total, 21 réponses ont été obtenues dans le cadre de cette étude. La population cible pour cette recherche était l'Association des Estimateurs et Économistes du Québec (AEÉCQ) qui a diffusé le sondage auprès de ses membres. Le sondage a été administré en ligne et abordait plusieurs aspects, notamment leur expérience antérieure avec l'approche du coût global, les types de projets dans lesquels ils ont observé ou pratiqué cette approche, ainsi que le contexte spécifique dans lequel elle a été mise en œuvre. Les participants ont également été invités à identifier les raisons pour lesquelles ils n'ont pas utilisé cette approche par le passé.

---

**Entrevues de recherches :** Nous avons mené des entrevues semi-ouvertes auprès de professionnels ayant une certaine expérience dans l'approche en coût global et l'estimation de coûts environnementaux. Les personnes participantes aux différentes activités de recherche ont été recrutées en utilisant un langage neutre et inclusif. Nous avons veillé à la diversité et à la représentativité des intervenants et les avons sélectionnés sur la base d'une série de critères objectifs. Un formulaire de consentement à la participation aux entrevues a été transmis et expliqué à chacun des participants, qu'ils ont chacun signé pour validation. L'objectif des entrevues était de déceler la perception des participants de ce qu'est l'approche du coût global au travers de leurs expériences et connaissances. Les questions qui ont guidés les entretiens étaient les suivantes :

- Comment définissez-vous le coût global ? (Définition, enjeux, objectifs, méthodologie, expériences, résultats...)
- Quelles sont pour vous les limites de l'approche aujourd'hui ?
- Quelles améliorations seraient souhaitables pour encourager son utilisation ?

- Comment peut-on utiliser le coût global pour internaliser les coûts environnementaux ?

Une dernière revue a été réalisée auprès de rapports québécois sur le sujet de l'économie circulaire afin d'identifier des recommandations déjà existantes qui pourraient supporter le travail de ce rapport. Finalement, l'ensemble des résultats de l'étude nous ont permis de proposer une série de recommandations stimuler l'adoption des principes du coût global et l'économie circulaire dans l'industrie de la construction québécoise.

---

## Synergies du coût global et l'économie circulaire

Le coût global permet d'explicitier et d'optimiser les coûts tout au long du cycle de vie des projets. Ainsi, une approche circulaire, peut être grandement valorisée en démontrant ses bénéfices d'application tout au long du cycle de vie. Cela s'avère particulièrement important dans le secteur de la construction pour optimiser l'usage des ressources disponibles mais aussi les investissements (Albuquerque, Mattos, Scur, & Kissimoto, 2019 ; Braakman et al., 2021).

Le coût global est également un outil essentiel pour comprendre et quantifier les aspects environnementaux et financiers des activités en économie Circulaire, ce qui permet d'optimiser la gestion de l'infrastructure (Kambanou & Sakao, 2020). La combinaison de ces deux approches est une opportunité, pour l'une et l'autre, d'en faire la promotion dans les pratiques. Le coût global supporte les meilleures stratégies à adopter, justifiant le modèle circulaire en fournissant aux décideurs et entrepreneurs des informations complètes sur les améliorations des structures de coûts basées sur des activités circulaires, les aidant à se démarquer sur un marché compétitif (Albuquerque et al., 2019). Il évalue également la rentabilité des

investissements et la faisabilité de projets respectueux de l'environnement (Ghisellini, Ripa, & Ulgiati, 2018). Ainsi, les organisations peuvent déterminer si la transition vers des procédés circulaires est économiquement avantageuse (Kerdlap & Cornago, 2021).

### Que signifie un coût global circulaire ?

Parmi les définitions de l'économie circulaire existantes, peu mettent en avant la valeur ajoutée de cette approche. Pourtant, lorsque l'on étudie la littérature sur le sujet de l'économie circulaire et le coût global, cette notion de valeur devient récurrente. L'économie circulaire est dans ce contexte décrit comme un système économique et de production, qui vise à créer de la valeur à partir d'un processus régénératif, utilisant les déchets comme ressources, et reliant de manière cohérente les activités de production et de consommation (Albuquerque et al., 2019 ; Ghisellini et al., 2018). En réduisant la dépendance aux énergies fossiles et en favorisant les énergies renouvelables, l'économie circulaire améliore également la résilience du système (Albuquerque et al., 2019; Ghisellini et al., 2018).

L'économie circulaire encourage ainsi un changement de mentalité vis-à-vis des déchets, et un repositionnement des ressources, des

produits et des matériaux comme source de valeur tout au long de leur cycle de vie (Ghisellini et al., 2018 ; Giuffrè, Granà, Giuffrè, Acuto, & Lo Pinto, 2021 ; Yu, Yazan, Junjan, & Iacob, 2022). En reconsidérant et en organisant un système comme un cycle continu, l'économie circulaire vise à créer de la valeur tout en éliminant les impacts négatifs sur l'environnement, convertissant les externalités négatives, en positives (Ghisellini et al., 2018 ; Yu et al., 2022). Dans un monde idéal, ce cycle se répèterait sur plusieurs générations évitant la nécessité de nouvelles ressources pour les nouveaux projets (Figure 6) (Bradley, Jawahir, Badurdeen, & Rouch, 2018).

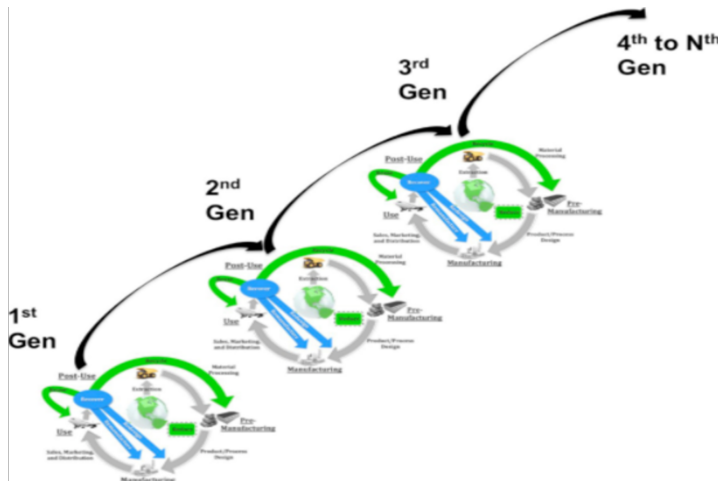


Figure 6: « Flux de matériaux multigénérationnels idéal » (Bradley et al., 2018)

Plus que l'optimisation du budget et des dépenses, la littérature met donc en avant le concept de création de valeur possible par l'utilisation

de ces deux approches en synergie. Ce concept de valeur n'étant pas explicitement mis de l'avant dans les définitions rencontrées, nous proposons lui redonner l'importance qui lui est dû à travers une définition de la mise en pratique coût global circulaire que nous adopterons pour cette étude :

**« Analyse holistique des coûts pertinents du cycle de vie d'un élément dans l'objectif d'optimiser les coûts d'extensions de sa durée de vie et considérant les déchets produits comme une source de valeur ».**

Cette définition que nous proposons implique de repenser les conceptions et fins de vies afin de considérer tout déchet ou ressources déjà présentes comme une ressource à utiliser de manière judicieuse et d'en tirer un maximum de valeur. L'objectif est de diriger vers un système où les ressources sont continuellement réutilisées, recyclées ou réparées. En opposition à un modèle d'investissement linéaire, le coût global circulaire permet de considérer la fin de vie d'un actif comme une source d'investissement future.

---

# L'application du coût global pour l'économie circulaire

## L'approche générale

La littérature scientifique récente dans le domaine de l'économie circulaire met en évidence un intérêt pour l'approche du coût global, comme un outil essentiel pour évaluer, guider et optimiser la mise en œuvre de stratégies circulaires. Cette approche holistique est mise en avant par plusieurs études, notamment celle de Kambanou (2020) qui propose une approche pratique pour sélectionner des mesures circulaires en utilisant le coût global (Kambanou & Sakao, 2020), Wouterzon (2020) qui développent un modèle pour comparer les performances économiques des conceptions de produits circulaires en termes de coûts globaux (Wouterszoon Jansen, van Stijn, Gruis, & van Bortel, 2020), Giorgi (2019) qui développent une utilisation combinée de l'analyse en cycle de vie et du coût global pour évaluer les impacts environnementaux et économiques des stratégies circulaires (Giorgi, Lavagna, & Campioli, 2019), ou encore Di Biccari (2019) qui mettent en œuvre le coût global et un indice de circularité pour faire des comparaisons entre différentes alternatives, tout en exploitant les capacités de visualisation du BIM (Di Biccari, Abualdenien, Borrmann, & Corallo, 2019).

Ces recherches démontrent un intérêt de plus en plus présent pour trouver des solutions afin d'évaluer financièrement les stratégies de l'économie circulaire de manière complète. Dans ces études, nous pouvons noter que le coût global est systématiquement utilisé de manière à évaluer la rentabilité des stratégies circulaires pour orienter les décisions de conception. Les résultats démontrent des analyses des impacts économiques par le coût global et environnementaux par des indices de circularité. Cette approche holistique permet de prendre des décisions éclairées en considérant à la fois les coûts monétaires à long terme et les bénéfices de stratégies circulaires, contribuant ainsi à démontrer les solutions les plus éco-efficaces.

### **Cadre théorique : Processus du coût global circulaire**

Les principes du coût global sont définis dans la norme ISO 15686-5. Dans le processus que nous pouvons identifier, nous pouvons déterminer une phase de définition d'objectifs et de périmètre de l'étude, une phase de définition de la portée des coûts, le calcul du coût global et une analyse des risques. En interprétant la littérature précédemment étudiée, l'économie circulaire s'intégrerait de la manière suivante (Figure 7) :

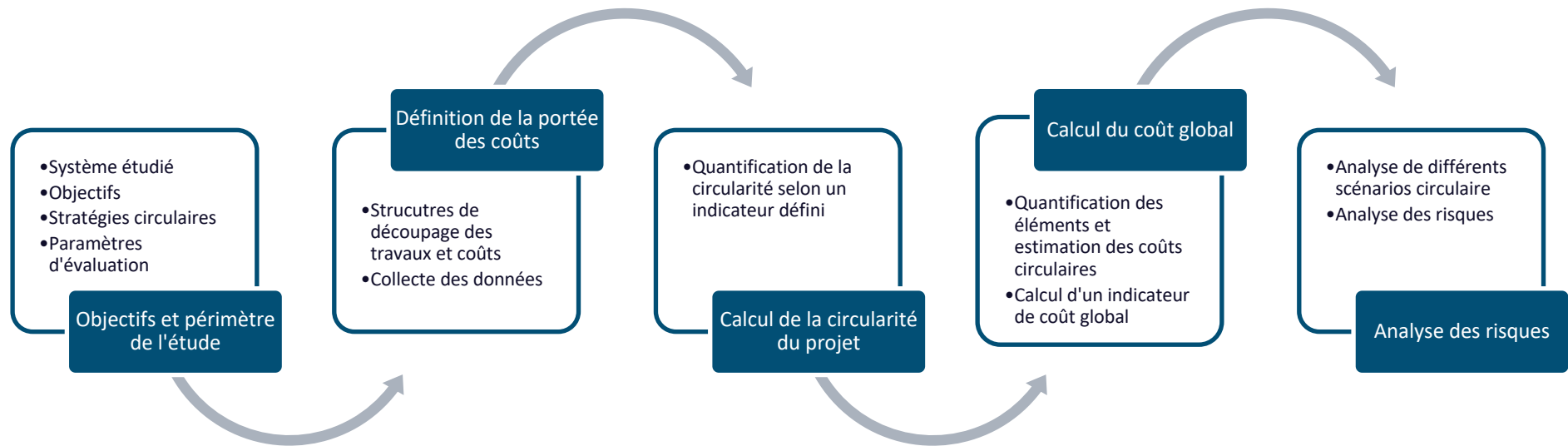
- Objectif et périmètre de l'étude : Cette phase comprendra la définition du système, des objectifs du projet, de la stratégie

---

circulaire à mettre en œuvre et/ou celles à comparer, les indicateurs de coût global et de circularité ainsi que les paramètres de durées de vies et de taux d'actualisation.

- Définition de la portée des coûts : Cette phase comprendra la définition d'une structure de découpage des coûts directs, indirects et des externalités selon les objectifs définis. Cette structure, basée sur la structure de découpage des travaux, permettra d'identifier les travaux à réaliser pour mettre en œuvre l'élément selon la stratégie circulaire définie. Il sera défini ses externalités selon les objectifs du projet. C'est à cette phase que nous pourrons aussi collecter les données de coûts.

- Évaluation de la circularité : Une méthodologie choisie dans la première phase permettra de définir le niveau de circularité de la solution constructive et pourra servir d'élément de comparaison.
- Calcul du coût global : Selon les objectifs définis, un indicateur du coût global est calculé dans le but de comparer les scénarios.
- Analyse des risques : À ce stade de l'étude, les différents scénarios seront comparés afin de déterminer le plus efficace en termes de Coût global-Circularité. Il sera néanmoins nécessaire de réaliser une analyse de risque pour identifier des changements probables selon des paramètres qui pourraient influencer les résultats



**Figure 7 : Proposition de processus pour un coût global circulaire**

Le cadre méthodologique proposé permet d'établir une première base théorique sur l'estimation d'un coût global circulaire. Cependant, une des limites concernant ce calcul et qui reste flou, est l'aspect de la monétisation des externalités, autrement dit, l'implication financière des stratégies circulaires. Dans la suite de cette étude, nous allons donc passer en revue les différentes méthodologies applicables.

---

## Monétiser les impacts environnementaux : processus

### **Évaluation, quantification des impacts et définition d'indicateurs**

La monétisation des retombées environnementales repose sur un processus d'évaluation et de quantification des impacts et avantages environnementaux. Au sein du secteur de la construction, diverses méthodologies sont employées en vue de mesurer ces externalités. Parmi ces méthodologies, nous avons pu voir dans la littérature que l'Analyse du Cycle de Vie était établie comme une méthodologie de base pour évaluer et quantifier ces impacts (Alejandrino, Mercante, & Bovea, 2022 ; Ghisellini et al., 2018 ; Giorgi et al., 2019). D'autres méthodes, plus spécifiques peuvent être utilisées lorsque l'on cherche à mesurer un indicateur précis. Cela peut être des analyses d'énergie, des revues environnementales, les analyses des flux d'entrées et de sorties, ou encore des éco-bilans (Jasch, 2000 ; Wang et al., 2020).

Dans le contexte spécifique de l'évaluation du degré de circularité au sein de structures bâties, plusieurs méthodologies existent. Sur ce point, un travail exploratoire a été réalisé par Marie Vigier dans le cadre de l'équipe solution #4 du Lab construction du Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire (CERIEC). Ce travail a permis de passer en revue les connaissances

académiques actuelles sur les indices de circularité et leurs méthodologies. Les résultats de l'étude sont disponibles en annexe. Parmi les méthodologies nous pourrions ici citer en exemple l'indice de circularité matérielle de la fondation Ellen MacArthur, mesurant un indice sur la base du flux de matériaux utilisés par un produit. Cet indicateur est largement utilisé et étudié en recherche et a notamment servi de base à la méthodologie de mesure d'indicateur de circularité de bâtiment (Verberne, 2016). Ce dernier mesure l'indice de circularité d'un bâtiment entier avec un système de pondération selon de niveau d'assemblage du système, allant du matériau, au produit, au système, et finalement au bâtiment.

### **Valorisation des impacts et bénéfices**

La quantification des impacts environnementaux et leur traduction en un indice interprétable nous ouvre la voie vers la valorisation monétaire souhaitée. Dans ce cadre, nous avons identifié deux approches méthodologiques pour valoriser ces indicateurs : L'approche théorique et l'approche des marchés (ECON Analysis, 2005).

---

### ***Approche théorique***

L'approche théorique repose le plus généralement sur l'utilisation des préférences déclarées des utilisateurs consistant à recueillir des informations directement auprès des utilisateurs par le biais d'enquêtes et de questionnaires (ECON Analysis, 2005). Les utilisateurs sont invités à exprimer leur volonté de payer pour un produit ou un évitement des coûts, ce qui permet de déterminer leur évaluation financière et leur niveau de satisfaction (Schneider-Marin & Lang, 2020). L'approche théorique utilise également la méthode de l'expérimentation du choix, qui consiste à présenter aux utilisateurs différentes options et à analyser leurs réponses pour déduire leurs préférences. Cette approche permet de collecter des données quantitatives sur les préférences des utilisateurs et d'évaluer l'impact des variables clés sur leurs décisions (Preston, 2015). Une autre méthode théorique est celle de l'actualisation des coûts utilisée par le coût global mentionnée précédemment.

### ***Approche de marchés***

L'approche de marchés se concentre sur la valeur économique des biens et services qu'offrent l'environnement. Cette approche permet d'évaluer tout impact du changement de l'état de l'environnement sur les comportements d'une population, les activités d'une entreprise ou des dégâts causés. Cette approche peut alors utiliser les préférences

révélées des utilisateurs et leurs volonté de payer réelles face à un impact environnemental qui va modifier leurs habitudes (ECON Analysis, 2005). Elle peut aussi utiliser des méthodes d'estimation des coûts de traitements et réparations de l'environnement, ou d'estimation des déficits du marché par rapport au coût du maintien nécessaire de l'environnement pour la mise en place de taxes ou coûts réglementaires (Preston, 2015).

### **L'expression des coûts**

Des coûts peuvent se classer de différentes manières. Les transactions, qui peuvent être des bénéfices ou des dépenses, originaires de revenus, subventions, travaux, pénalités, taxes... La nature des coûts, qui rassemble les « coûts apparents » facilement identifiables et mesurables, les « coûts cachés » moins évidents et difficiles à quantifier, ainsi que les « coûts non déclarés », qui sont des externalisés ou des coûts non inclus dans les rapports financiers (ECON Analysis, 2005). Et finalement, les différentes parties responsables de payer ou percevoir les bénéfices, qu'il s'agisse du propriétaire, de l'utilisateur ou d'un tiers. La revue de la littérature nous a permis de classer les méthodes et les coûts dans la figure (Figure 8) ci-dessous.

Classification des méthodes	Méthodes théoriques	Méthodes de marchés		
	Préférences déclarées	Coûts de dommages et ressources		Préférences révélées
	Volonté de payer Méthode de l'expérimentation du choix	Dégradations Mesures de protections et prévention	Approches par le prix du marché Approches basées sur les coûts (coûts évités)	
Coûts théoriques Pondérations Coûts d'évitements	Coûts réels Coûts de travaux Coûts en ressources			
Classification des coûts	Types de transactions	Bénéfices		Dépenses
	Origine	Revenus Subventions Réductions	Travaux et études Entretien et maintenance Sanctions Pénalités	
	Nature des coûts	Apparents	Cachés	Non déclarés
	Responsabilité	Propriétaire Utilisateur Tiers		

Figure 8: Cadre théorique : Classification pour monétiser les impacts environnementaux

## Les lacunes de la littérature actuelle

L'atteinte de l'idéal du coût global circulaire nécessite encore des efforts. Afin d'intégrer les externalités et prendre des décisions organisationnelles efficaces, de nouveaux outils sont nécessaires pour évaluer de manière approfondie les coûts, avantages et externalités sur l'ensemble du cycle de vie (Albuquerque et al., 2019). Il est nécessaire de travailler sur de nouvelles approches, robustes, avec une répartition réfléchie des impacts environnementaux entre les différents acteurs. Cette allocation de coûts et d'impacts est un enjeu

portant sur la responsabilité de prise en charge, dont le cadre n'est aujourd'hui pas clairement défini (Giorgi et al., 2019 ; Kerdlap & Cornago, 2021).

Aussi, il est reconnu que les coûts traditionnels ne parviennent pas à saisir pleinement l'ampleur des impacts environnementaux associés, questionnant ainsi la pertinence des méthodes de comptabilisation actuelles (Albuquerque et al., 2019). Un exemple concret peut être celui d'une fuite d'eau impliquant énormément de dommages qui peut être réparée à faible coût. Cette lacune dans les comptabilisations reflète entre autres le manque d'indicateurs pertinents et le manque de consensus sur les stratégies à adopter (Alejandrino et al., 2022 ; Di Biccari et al., 2019 ; Kambanou & Sakao, 2020). Ce qui nous amène aux problèmes que peuvent poser l'accès aux données fiables, qui constitue également un obstacle, car il est essentiel de disposer d'informations précises sur l'ensemble du cycle de vie des matériaux et des produits utilisés dans la construction afin de prendre des décisions éclairées. Enfin, les incertitudes liées aux prévisions économiques, technologiques et environnementales ajoutent une complexité supplémentaire à l'estimation du coût global (Higham, Fortune, & James, 2015). Pour surmonter ces défis, il est impératif d'adopter une approche intégrée basée sur une collaboration multidisciplinaire.

### **En Résumé...**

*Le coût global circulaire est une approche holistique qui permet de prendre des décisions éclairées en considérant à la fois les coûts monétaires à long terme et les bénéfices de stratégies circulaires, contribuant ainsi à la transition vers une économie circulaire et durable. Le processus de monétisation des impacts environnementaux dans la construction implique l'évaluation et la quantification des impacts à travers des méthodes telles que l'Analyse du Cycle de Vie. Deux approches, théorique et des marchés, sont utilisées pour valoriser ces impacts, en se basant sur les préférences déclarées des utilisateurs ou sur la valeur économique des biens et services environnementaux. Cette démarche vise à intégrer les externalités environnementales dans les décisions économiques pour promouvoir la durabilité circulaire. Des lacunes dans la réalisation du coût global circulaire dans la construction existent en raison du manque de connaissances et de méthodes. De nouveaux outils sont nécessaires pour évaluer en profondeur les coûts. Les méthodes traditionnelles de comptabilisation ne capturent pas suffisamment les impacts environnementaux, en partie en raison du manque d'indicateurs et de consensus. L'accès à des données fiables et les incertitudes liées aux prévisions ajoutent à la complexité, nécessitant une approche intégrée et multidisciplinaire pour relever ces défis.*

## **Investigation sur les pratiques québécoises**

### **Un sujet encore naissant**

En commençant par interpréter les résultats du sondage réalisé auprès de l'AEÉCQ, nous pouvons obtenir un aperçu de l'état des pratiques et connaissances actuelles sur le coût global. Le questionnaire ayant servi à sonder les participants est présenté dans le tableau.

*Tableau I: Questions du sondage réalisé*

Avez-vous déjà été témoins ou déjà pratiqué l'approche dans un projet ?
Dans quel contexte a été mené l'approche ?
Pour quelles raison(s) n'avez-vous pas utilisé l'approche ?
Pensez-vous que l'approche a le potentiel d'améliorer les investissements en construction ?
Pensez-vous que l'approche a le potentiel d'améliorer le rôle des estimateurs dans les projets ?
Quels seraient vos besoins pour commencer à utiliser cette approche ?

Les résultats du sondage démontrent que 76% n'ont jamais pratiqué le coût global dans leurs projets et la moitié de ces derniers n'avaient jamais entendu parler de l'approche.



Figure 9: Réponses à la question « Avez-vous déjà été témoins ou déjà pratiqué l'approche dans un projet ? »

Les contextes de projets dans lesquels le coût global a été réalisé montrent que dans la majorité des cas c'est le client qui est le principal demandeur de l'approche. Dans les réponses « autres », une réponse précise que l'approche a été réalisée dans le cadre d'un mandat de type Conception-Construction-Financement-Entretien et une autre dans le cadre d'une évaluation économique.



Figure 10: Réponse à la question « Dans quel contexte a été menée l'approche ? »

Le sondage révèle une part aussi élevée que celle qui n'ont jamais pratiqué le coût global (76%) qui pense que l'approche pourrait améliorer le rôle des estimateurs dans les projets. Et nous pouvons aussi noter que 81% pensent que l'utilisation de cette approche permettrait d'améliorer les investissements.

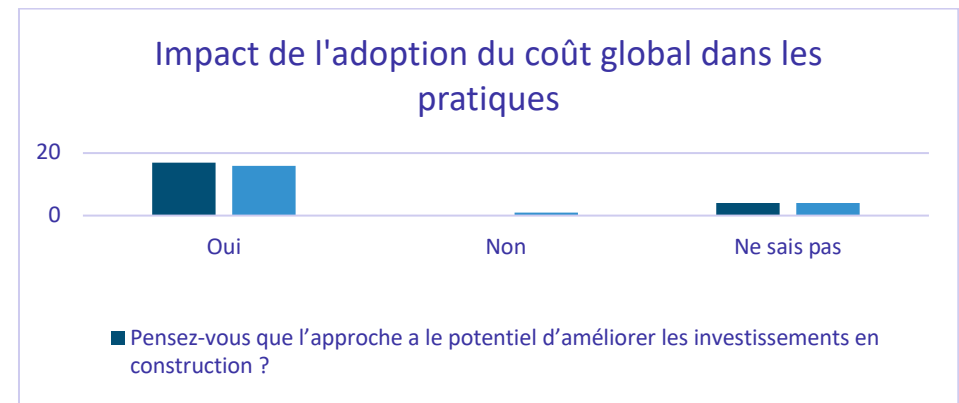


Figure 11 : Réponse aux questions sur l'impact du coût global dans les pratiques

La question portant sur les raisons qui font que le coût global n'ait pas été utilisé, a pour réponse la plus sélectionnée « Autre », dont il a été précisé qu'il n'y avait « aucune demande » 4 fois, « Pas de connaissance » 2 fois, « sans objet » 3 fois et la dernière réponse est une erreur disant que la personne a déjà pratiqué l'approche.

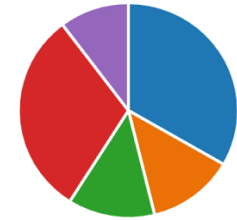
● Manque de temps	5
● Manque de connaissances	3
● Manque de compétences	1
● Manque d'outils	3
● Autre	10



**Figure 12: Réponse à la question « Pour quelles raison(s) n'avez-vous pas utilisé l'approche ? »**

Les principaux besoins ressentis par les estimateurs et économistes sont la nécessité de formation et de la demande du client pour mener l'approche dans les projets. Un besoin en outils logiciels et bases de données est aussi nécessaire.

● Formation	13
● Logiciel	5
● Base de données	5
● Demande de la part du client	12
● Autre	4



**Figure 13: Réponse à la question « Quels seraient vos besoins pour commencer à utiliser cette approche ? »**

Bien que l'échantillon ne soit pas assez représentatif de l'ensemble des économiste et estimateurs du Québec, Parmi les participants, 76% n'ont jamais employé cette méthodologie dans leurs projets, et la moitié d'entre eux n'étaient même pas familiarisés avec cette approche, soulignant le besoin de sensibilisation et de formation. Il est notable que les cas d'utilisation de l'approche sont principalement initiés par les clients, pointant vers une reconnaissance croissante de sa valeur ajoutée. L'intérêt suscité par l'approche est palpable, avec 76% des non-utilisateurs qui croient en son potentiel pour améliorer leur rôle, et une écrasante majorité de 81% qui estime qu'elle pourrait augmenter la qualité des investissements. Les raisons de sa non-utilisation englobent le manque de demande, de connaissance et de pertinence contextuelle. Les besoins identifiés se concentrent sur la nécessité de formation, de demandes accrues de la part des clients, ainsi que sur le besoin d'outils logiciels et de bases de données pour faciliter sa mise en œuvre.

## État des pratiques actuelles

La deuxième étape de l'investigation a été la réalisation d'entrevues semi-ouvertes. Au total, 15 participants ont été interrogés. Parmi eux, 5 personnes opèrent dans des institutions publiques en estimation et à la gestion des actifs. 7 d'entre eux font partis d'entreprises privées en estimation et analyse environnementale et 3 œuvrent dans le domaine de la recherche, dont 2 en tant que professeurs en économie appliquées et comptabilité, et travaillant sur la monétisation des impacts environnementaux et 1 en tant que chargé de projet d'assistance en gestion des actifs.

**Tableau II: Répartition des métiers des participants**

Métiers	Participants	Secteur privé	Secteur Public
Professeur titulaire	2	-	-
Analyste environnemental	1	1	-
Accompagnement pour la gestion des actifs	1	-	-
Estimateur	6	5	1
Gestionnaire d'actifs	1		1
Économiste	4	1	3

Ce panel de participants constitué de 14 professionnels québécois et 1 économiste français, nous a permis d'investiguer sur les pratiques québécoises pour la considération des coûts globaux et environnementaux dans les projets de construction. Grâce à ces entrevues, nous avons pu explorer les pratiques tant dans le secteur public que privé afin de définir des améliorations qui peuvent trouver un consensus pour les acteurs de l'industrie. En séparant maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre, nous allons déterminer le processus d'application du coût global pour les coûts environnementaux, les méthodologies d'estimations et la classification des coûts. Nous explorerons ensuite les obstacles et améliorations que nous pouvons mettre en place pour améliorer ces pratiques grâce aux différents témoignages recueillis.

Recherche

### **Un intérêt présent**

<sup>2</sup>Au cours des entrevues nous avons discuté avec les participants de leurs intérêts et bénéfices qu'ils pouvaient tirer en menant des estimations en coût global et des internalisations d'impacts environnementaux. L'utilité du coût global qui ressort des discussions, s'avère être l'optimisation des décisions d'investissements. Cet usage, qui concerne aussi parfaitement l'internalisation des impacts environnementaux, est le principal étant donné l'objectif derrière l'utilisation de l'approche, autrement dit, la comparaison de choix

---

constructifs pour des choix en adéquation avec les exigences du client. Les termes « exigences du client » est ici un sujet central. En effet, comme nous l'avons vu dans le sondage, les entrevues nous ont confirmés que la demande du client est un des moteurs principaux qui va faire que les estimations globales et internalisations sont réalisées.

À travers ces estimations, les entreprises privées de conception ou d'exécution des projets ont pour objectif de répondre à la satisfaction du client en lui proposant des choix constructifs les plus rentables en fonction de ses exigences, et surtout les plus qualitatifs par rapport au budget. C'est d'ailleurs un outil qui peut être très utile pour les fournisseurs et manufacturiers qui peuvent faire la promotion de leurs produits ou services, en mettant en avant l'aspect durable grâce au coût global, internalisant les coûts de gestions d'impacts environnementaux ou même les bénéfiques. Cet aspect de promotion est d'ailleurs très présent dans d'autres industries où le coût global est utilisé par de multiples acteurs, révélant l'ensemble des coûts cachés (Caniato, 2014). En incluant les coûts liés aux impacts environnementaux dans les décisions d'investissement, les entreprises peuvent non seulement mieux gérer l'empreinte écologique des projets, mais aussi démontrer leur engagement envers la durabilité aux parties prenantes.

## **Pratiques générales**

### **Constats pour le coût global**

De manière générale, l'estimation en coût global est aujourd'hui réalisée de manière assez sommaire et est peu commune. Nous avons pu observer dans les entrevues que la perception du coût global des participants, qui n'en n'avaient jamais appliqué la méthodologie au sens de la norme ISO 15686-5, est très orientée vers la considération des coûts d'exploitation, d'entretiens, de maintenances, de consommations en énergie et de remplacement durant la vie utile de l'élément. Cette vision peut être assimilée à la définition du « coût total de propriété ». Ainsi, le principe appliqué est d'estimer les coûts directs et indirects d'un système avec comme durée de vie le temps durant lequel le bénéficiaire de l'approche est propriétaire.

Un des participants a témoigné que le coût global tel que nous le considérons, est souvent plus appliqué de manière « partielle », c'est à dire à l'échelle d'éléments constructifs. À l'échelle du projet, il est plus communément réalisé des analyses financières où les participants nous ont indiqués utiliser plusieurs principes du coût global telle que l'actualisation des coûts. La différence entre ces deux analyses résiderait dans l'opérationnalisation du projet. Les analyses

---

financières vont se concentrer sur la performance économique des projets, et analyser la faisabilité et viabilité de projets tandis que le coût global est appliqué pour définir les flux monétaires du projet de plus en plus détaillés en fonction de l'avancement du projet.

Dans la continuité du client comme acteur central dans la définition des exigences et objectifs d'estimations, il est notable que les organismes publics et les banques sont des référents pour les économistes et estimateurs dans la détermination de paramètres de calculs, notamment pour les taux d'inflations ou les prix des matériaux.

#### **Constats pour l'internalisation des coûts environnementaux**

Dans le contexte de l'internalisation des coûts environnementaux, les maîtres mots des participants étaient « contraintes environnementales », « réglementations » et « économies ». Les contraintes environnementales concernent le contexte où des travaux sont un enjeu pour la préservation des écosystèmes et des ressources. Lié au même enjeu, les réglementations sont identifiées comme un coût obligatoire à estimer pour la réalisation des travaux. Cela peut aussi être la réduction d'impacts sur la société et les activités humaines. Et le terme économie ressortait souvent en lien avec l'énergie, qui résonne comme une facette importante de la

perception de ce qu'est un projet durable. Les participants discutaient alors principalement de la mise en place d'équipements peu énergivores et de matériaux performants et nécessitant peu d'entretiens.

Les méthodes utilisées en pratique suivent les mêmes que celles retrouvées dans la revue de la littérature. Décrites et confirmées par les professeurs interrogés, l'industrie a la possibilité de mettre en pratique six méthodes, qui sont réputées les plus communes :

- 1- Le coût des dommages et restauration : L'examen des externalités implique d'évaluer les coûts entraînés par les dommages causés, ainsi que les dépenses engagées pour la remise en état. Une attention particulière doit être portée à la nécessité de mobiliser une expertise spécialisée pour une évaluation précise des dégâts et la planification adéquate des actions correctives.
- 2- Valeur hédonique : La notion de valeur hédonique constitue un élément central dans l'analyse des externalités. Celle-ci englobe le changement de valeur que subissent les biens affectés par l'externalité, en comparant leur état initial à celui après l'apparition de ladite externalité. Cette variation de valeur

---

offre un éclairage essentiel pour quantifier l'impact économique sur les biens touchés.

- 3- Coûts de déplacements : Un volet crucial dans la considération des externalités concerne les coûts engendrés par les déplacements supplémentaires induits. Cela englobe les dépenses accrues supportées par les individus pour éviter les effets négatifs de l'externalité. Cependant, il est impératif de discerner si ces coûts simplement déplacent le problème vers un autre endroit ou bien s'ils transfèrent la responsabilité de l'externalité à d'autres acteurs.
- 4- Coût évités : Ils désignent les dépenses évitables grâce à une planification proactive visant à minimiser les effets néfastes d'une externalité. La compréhension de ces coûts correctifs potentiels se révèle essentielle pour évaluer la justification d'investissements préventifs et les retombées économiques envisageables.
- 5- Volonté à payer pour éviter/corriger : Pour appréhender les aspects économiques des externalités, il convient d'analyser la volonté des parties concernées à déboursier des fonds en vue de prévenir ou de rectifier les conséquences indésirables. Cette évaluation de la disposition à payer non seulement révèle le degré de gravité perçue de l'externalité, mais également

établit une base pour la mobilisation de ressources nécessaires aux mesures correctives.

- 6- Prix du marché : L'impact d'une externalité peut souvent être traduit en termes de pertes de revenus sur le marché. Les fluctuations des prix et les changements dans les tendances d'offre et de demande induits par l'externalité peuvent donner lieu à des pertes économiques substantielles. La compréhension de ces dynamiques de marché demeure primordiale pour saisir pleinement les conséquences financières des externalités.

Il est tout à fait possible de combiner ces méthodes afin d'avoir une appréciation globale de l'impact économique d'une externalité. Ces méthodes, bien que peu utilisées, sont acceptées par les praticiens, publics et privés. Dans les deux cas, ils appliqueront une ou plusieurs de ces méthodes pour estimer les coûts dont ils ont la responsabilité. Ainsi, les prochaines sections discuteront des contextes des projets qui incitent l'utilisation de ces méthodes.

---

## Pratiques de la maîtrise d'œuvre

En règle générale, dépendamment des modalités contractuelles, les équipes de conceptions engagées et les maîtres d'œuvres tirent profits des rémunérations qui sont prévues en début de projet selon le budget défini. Dans certains cas, ces intervenants peuvent percevoir des bénéfices ou des pénalités découlant du coût global du projet ou des impacts environnementaux qu'ils ont alors intérêt à estimer.

- Conceptions durables : Pour répondre à la satisfaction du client en lui proposant des choix qualitatifs et rentables, le concepteur peut avoir à justifier économiquement ses propositions. Comme vu précédemment, le coût global est utilisé comme indicateur pour évaluer les coûts-avantages des solutions, et les coûts environnementaux y sont internalisés.
- Gestion des risques : La gestion des risques est un aspect important des projets de construction. Si des événements inattendus surviennent, tels que des retards majeurs, des dommages, ou défauts de constructions, les maîtres d'œuvre pourraient devoir prendre en charge les coûts liés à la gestion de ces risques. Ils devront être alors capables de les prévoir et estimer via des méthodes de coûts réels le cas échéant.

- Les types de contrats : Dans le contexte des contrats de conceptions-constructions traditionnels, les coûts globaux et circulaires seront perçus comme des bonus ou au contraire, des pénalités. Par exemple, en répondant à des contrats pour une certaine rémunération, trouver des solutions alternatives, par exemple en récupérant des matériaux, lors de l'exécution des travaux, qui seront moins chers, mais répondant toujours aux exigences, permettra au maître d'œuvre de déboursier moins, et donc faire plus de profits.

Dans le cadre des contrats de gestion de constructions, les coûts de maintenance peuvent également être considérés. Les maîtres d'œuvre pourraient être mandatés d'assurer le bon fonctionnement et la sécurité du projet pendant une période spécifiée après sa réalisation.

Finalement, Le scénario le plus souhaitable dans les témoignages concerne les modes de projets intégrés, où les avantages et les risques sont partagés entre tous les intervenants. Plus le projet est économique et de haute qualité, plus les rémunérations sont substantielles. Cette approche encourage à la fois l'efficacité économique et la qualité de la réalisation, créant ainsi un alignement d'intérêts entre les parties prenantes, d'où l'intérêt d'avoir une connaissance de l'ensemble des coûts globaux et environnementaux pertinents.

---

## Pratiques de la maîtrise d'ouvrage

La maîtrise d'ouvrage va être responsable de la majorité des coûts induits par les projets, il a été confirmé dans les entrevues que c'est à eux que le coût global et l'estimation des coûts environnementaux est utile.

Les entités de maîtrise d'ouvrage public ont souvent des contraintes et des objectifs particuliers liés à l'intérêt public, et à la responsabilité sociale. Dans ce contexte, l'estimation du coût global et l'internalisation des coûts environnementaux peuvent concerner les coûts de gestion, de maintenance ou de remise en état d'infrastructures offrant un service particulier aux habitants. Les acteurs de la maîtrise d'ouvrage privée, en revanche, sont souvent motivés par des impératifs de rentabilité et de retour sur investissement. Ils vont alors être plus souvent intéressés par l'internalisation des impacts environnementaux se trouvant sous la forme de subventions ou des incitations pour la mise en œuvre de pratiques durables. Dans le cas de grands groupes immobiliers privés, les coûts environnementaux peuvent être perçus comme des éléments influençant la valorisation future de la propriété, en particulier dans un contexte où les normes environnementales sont de plus en plus prises en compte par les investisseurs et les locataires.

Lors des phases préliminaires de projet, les clients réalisent des études de faisabilité, s'accompagnant généralement d'évaluations pour simuler différents scénarios de coûts et de revenus, prenant en compte. Les coûts environnementaux peuvent alors être inclus s'ils sont importants et influencent grandement le coût d'investissement.

De manière générale, l'outil le plus commun qui est utilisé pour intégrer des exigences de coûts environnementaux est la procédure d'appels d'offres, permettant de sélectionner des maîtres d'œuvres sur la base d'une évaluation multicritères. En intégrant le coût global ou des exigences environnementales dans ce processus, le client peut s'assurer que ses objectifs de planification et la maîtrise des impacts du projet soient considérés. La demande d'estimation des coûts globaux et environnementaux peut intervenir à plusieurs moments clés tout au long du processus dès la préparation de l'appel d'offres. D'autres solutions leurs sont accessibles, notamment pour les municipalités, qui peuvent user par exemple des permis de construire pour demander des informations et une certaine qualité aux constructions. Globalement les maîtres d'ouvrages peuvent être soutenus par des incitations gouvernementales qui peuvent prendre la forme de lois, réglementations ou encore des incitatifs financiers.

## ***En Résumé...***

*L'estimation des coûts globaux est encore aujourd'hui souvent simpliste et peu courante. De même, les méthodes d'internalisation des coûts environnementaux sont centrées sur les contraintes environnementales, les réglementations et les économies. Les praticiens, qu'ils soient du secteur public ou privé, sont enclins à utiliser ces méthodes malgré leur utilisation relativement limitée mais vont agir plus facilement si le client est demandeur de ces informations. Du point de vue de la maîtrise d'ouvrage, les coûts globaux et environnementaux jouent un rôle clé dans les décisions d'investissement. Les entités publiques sont soucieuses de l'intérêt public et des responsabilités sociales, tandis que les acteurs privés visent la rentabilité et le retour sur investissement. De manière globale, l'industrie est soutenue par des mesures gouvernementales qui peuvent prendre la forme de lois, réglementations ou encore des incitatifs financiers.*

## **Les difficultés rencontrées et besoins pour améliorer les pratiques**

Les lacunes dans l'estimation en coût global et l'internalisation des coûts environnementaux sont multifactorielles, présentes tant au niveau technologique qu'organisationnel.

**« Le coût global s'alimente de données qui sont une denrée rare »**

Pour l'approche du coût global, les professionnels interrogés sont formels, la plus grande difficulté réside dans l'accès aux données sur les durées de vies des éléments. Cette information manquante empêche les estimateurs et économistes de s'engager avec confiance auprès du client pour fournir des estimations prédictives. De même que pour trouver des valeurs monétaires pour des impacts environnementaux, le manque de données pratiques ajoute un travail laborieux et coûteux de recherche, limitant la capacité à intégrer efficacement ces coûts dans les estimations. Aussi, la multiplicité des intervenants et le cloisonnement des professions dans les projets empêchent la collaboration et le partage des données qui pourraient faciliter les analyses.

---

**« Les méthodes manquent encore de robustesse et de stabilité »**

L'utilisation du coût global et des méthodes d'internalisation des coûts environnementaux est un sujet encore très peu développé et manque de cohérence générale, due à la difficulté d'accès à des méthodes de calcul robustes. Ce manque de robustesse, c'est à dire l'obtention de résultats au plus proche des réalités, peut entraîner des impossibilités de comparer des résultats avec d'autres méthodes. Par exemple, le coût de restauration d'un impact environnemental peut être moindre comparé aux dégâts causés. Les participants ont ainsi révélé un manque de stabilité, en partie dû à la subjectivité de ces méthodes incertaines. Comme mentionné précédemment pour l'accès aux données, un travail laborieux est à réaliser pour accéder aux méthodes, qui sont parfois encore à un état expérimental. Ainsi, il est presque impossible de définir des coûts de manière déterministe, dû à des paramètres incertains et sur de longues périodes. Il est donc très important de réaliser des analyses de risques pour renforcer les estimations, mais ce qui n'est pas fait systématiquement.

**« Si le client demande quelque chose mais qu'il n'a pas l'argent pour le payer, nous ne pouvons pas le faire ! » – « L'arrimage entre les exigences d'exécution et le but recherché de l'infrastructure, n'est pas encore parfait »**

La vision à court terme des projets, met l'accent sur les économies immédiates, et visibles, pouvant entraîner la négligence des coûts opérationnels et environnementaux. Cette vision est très persistante, et une de cette raison est la limitation budgétaire des clients, qui peut empêcher la pleine prise en compte des coûts environnementaux même s'ils sont estimés. Ceci favorise les politiques de dotation basées sur le plus bas soumissionnaire, qui peuvent sous-estimer les coûts réels en mettant l'accent sur les coûts initiaux plutôt que sur les coûts à long terme. L'équilibre entre les impératifs opérationnels et les objectifs environnementaux peut donc être complexe à définir, et surtout à communiquer. D'un côté les donneurs d'ouvrages sont concentré sur la mise à disposition d'une infrastructure pour une fonction précise, tandis que de l'autre, les prescripteurs de travaux souhaitant l'atteinte d'objectifs environnementaux, vont apporter certains points d'attentions pour réduire les impacts. Il peut donc y avoir des difficultés de coordination des exigences lorsque la sensibilisation des professionnels n'est pas faite d'un côté comme de l'autre.

## Besoins identifiés

**« Si le cycle de vie a un début et une fin définis, et est accepté de tous et chacun, alors assurément il y a de l'intérêt pour un coût global.»**

Cette citation issue d'une des entrevues est révélatrice de plusieurs besoins dans l'industrie. Tout d'abord, elle met en avant le principal besoin des estimateurs d'avoir des données fiables, surtout pour les durées de vies, qui faciliteront les analyses. Le manque de bases de données est l'une des barrières pour l'accès aux données pratiques et applicables. Un autre besoin retrouvé à travers cette citation est celui de méthodologies robustes pour estimer les coûts, et le dernier besoin est qu'elles soient standardisées le plus possible pour que tous les acteurs de l'industrie travaillent de manière consensuelle.

**"Le problème c'est d'attacher toutes les gens de l'industrie autour d'un même processus pour que ça fonctionne"**

Pour que les estimations soient réalisées de manière efficace, une collaboration renforcée entre les parties prenantes est indispensable. Les améliorations telles que l'accès plus simple aux données ou la coordination des exigences nécessite une prise de conscience collective des avantages de considérer les coûts globaux et environnementaux dès la phase de conception. Un autre besoin est

donc une sensibilisation des professionnels de l'industrie sur les enjeux liés à ces estimations.

**"Il faut s'entendre au niveau international [...] et éviter des disparités régionales"**

La collaboration nécessaire au sein des projets l'est aussi dans un contexte plus global et interdisciplinaire. Une communication entre les professionnels et les maîtres d'ouvrage est nécessaire pour établir des estimations réalistes, prenant en compte des enjeux rarement limités à un seul domaine. La mise en place de réglementations et de politiques incitatives est nécessaire pour pousser la prise en compte des coûts globaux et environnementaux, mais doit se faire de manière stratégique, en accordance avec le contexte global.

### ***En Résumé...***

#### ***Difficultés rencontrées :***

- ***Accès aux données sur les durées de vies***
- ***Attribuer une valeur réelle aux impacts environnementaux***
- ***Manque de méthodologies robustes et standardisées***
- ***Vision à court terme et budgets de construction***
- ***Communication et collaboration***

#### ***Besoins identifiés :***

- 
- *Besoin d'une vision à long terme pour l'internalisation des coûts environnementaux dans toutes les phases du cycle de vie.*
  - *Nécessité d'une réglementation claire et de politiques incitatives pour encourager l'internalisation des coûts environnementaux.*
  - *Besoin de ressources et de données fiables pour soutenir l'estimation précise des coûts environnementaux.*
  - *Collaboration étroite entre les décideurs, les concepteurs et les parties prenantes pour définir des cycles de vie cohérents.*
  - *Développement d'une méthode robuste pour estimer les coûts à long terme de manière plus précise.*
  - *Besoin d'une communication ouverte entre les clients et les professionnels pour garantir la prise en compte des coûts environnementaux.*
  - *Harmonisation des pratiques d'estimation et des normes pour garantir une évaluation cohérente des coûts environnementaux.*
  - *Formation et sensibilisation des professionnels de l'industrie sur les enjeux et les meilleures pratiques liés à l'estimation des coûts et à l'internalisation des coûts environnementaux*

# Lumière sur des recommandations pour l'économie circulaire issues de rapports québécois

Au Québec, plusieurs organismes œuvrent pour encourager la transition de l'industrie québécoise vers une économie circulaire. Parmi les rapports existants de ces organisations, nous avons relevé quelques recommandations en rapport avec des aspects économiques qui sont pertinents pour le sujet de notre étude.

*Économie circulaire au Québec : Opportunités et impacts économiques, Conseil du patronat du Québec (CPQ), 2018*

- « Approfondir les connaissances sur le concept d'économie circulaire
- Modéliser les retombées économiques de la transition pour le Québec
- Développer des programmes d'aide, d'incitatifs, d'une fiscalité appropriée et d'une législation favorable »



*L'Économie circulaire au Québec : quelles options pour la stratégie gouvernementale en développement durable 2022-2027 ? CIRANO, 2020*

- « Mesurer et faire le suivi de la progression vers des objectifs de circularité de l'économie, en favorisant le recours à la modélisation pour évaluer les gains environnementaux et économiques
- Sensibilisation
- Formation
- Définir des indicateurs s'appuyant sur des références internationales
- Adopter une politique d'approvisionnement écoresponsable et intégrer des critères d'éco-conditionné et d'éco-responsabilité aux appels d'offres et à l'octroi de financement gouvernemental. »



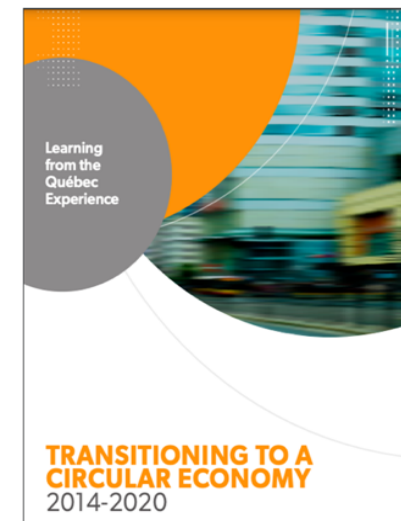
**Mémoire consultations particulières et auditions publiques sur le projet de stratégie gouvernementale de développement durable 2023-2028, CERIEC | ÉTS, 2023**

- « Stimuler la participation des acteurs : Par la sensibilisation, l'éco-fiscalité, ou encore l'incorporation de critères de circularité dans les approvisionnements publics et ceux des grandes corporations.
- Développer un tableau de bord pour suivre les progrès en matière de circularité et aider à fixer les nouvelles cibles.
- Mobiliser les sources de capitaux, tels que les chaînes de financement publiques et privées, ainsi que les investisseurs institutionnels. »



**Transitioning to a circular economy Learning from the Québec Experience, Québec Circulaire, 2021**

- « La documentation des avantages (de la transition vers une économie circulaire) et des indicateurs est un facteur de succès »



**Rapport sur l'indice de circularité de l'économie, Circle Economy, 2021**

- « Tirer parti des marchés publics pour favoriser des stratégies circulaires »



### **En Résumé...**

*Ces recommandations mettent d'avant la nécessité d'approfondir la compréhension du concept d'économie circulaire et d'en modéliser les retombées économiques. Pour favoriser la transition, des programmes d'aide, des incitatifs fiscaux et une législation favorable sont recommandés d'être mis en place. Aussi, le financement gouvernemental sera essentiel pour favoriser la participation des acteurs du secteur public et privé. Enfin, il est crucial de documenter les avantages de la transition vers l'économie circulaire et d'exploiter les marchés publics comme levier pour promouvoir des pratiques économiques circulaires. Un aspect décisif sera la mesure et suivi des progrès vers les objectifs de circularité en utilisant des modèles pour évaluer les gains environnementaux et économiques.*

## **Recommandations pour un coût global circulaire dans les projets**

L'ensemble de l'étude menée dans le cadre de ce rapport a permis de déterminer une série de recommandations afin de soutenir le principe d'application du coût global et faciliter l'estimation des implications financières de l'économie circulaire dans les projets de construction.

### **Axe 1 : Immiscer et accompagner une vision globale et Intégrée des projets de construction**

L'axe 1 de recommandations vise à promouvoir une approche intégrée et globale pour favoriser la prise en compte des coûts globaux et environnementaux dans les projets de construction. En poussant la sensibilisation, la formation, l'incitation et la collaboration entre les acteurs de l'industrie, l'objectif est de modifier le paradigme de pensée des constructions linéaires et à court terme pour une meilleure évaluation des implications financières de l'économie circulaire.

#### **1. Sensibiliser et former**

La sensibilisation constitue la pierre angulaire de la considération des coûts globaux et environnementaux dans les projets de construction. Il est capital de conscientiser les parties prenantes, y compris les décideurs politiques, les entreprises et le grand public, sur l'importance de prendre en compte les aspects environnementaux dans les décisions. Ainsi, des programmes de formation pourraient être développés afin de doter ces acteurs des compétences nécessaires pour évaluer de manière adéquate les coûts globaux et environnementaux. Cette formation pourrait couvrir les méthodes

---

d'évaluation, les outils d'estimation et les approches de gestion des risques pour traiter l'incertitude inévitable à ces coûts.

## 2. Inciter par des mesures fiscales

L'intégration des coûts environnementaux nécessite des incitations adéquates pour encourager les parties prenantes à adopter une perspective globale. L'utilisation de mesures éco-fiscales ont un effet de changement sur les habitudes et comportements. Les participants ont beaucoup mentionné la taxe carbone qui est utilisée dans d'autres pays. Ainsi, que ce soit cette taxe ou d'autres mesures fiscales qui pourraient concerner les projets jusqu'à leur démolition, ces mécanismes faciliteront la prise en compte des coûts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie, grâce à des coûts concrets qui rendront ces impacts presque tangibles.

## 3. Mener des projets pilotes

Afin d'étudier les réactions et l'adoption de nouvelles pratiques telles que des mesures éco-fiscales ou de tester des formations et nouvelles méthodologies, il est essentiel de mener des projets pilotes qui apporteront des études de cas. Ces projets permettront d'adapter les actions mises en œuvre mais aussi de préparer l'industrie en leur donnant des exemples pratiques sur ces nouvelles approches. Ces

projets sont essentiels pour rassembler des données empiriques qui feront avancer tant la recherche que la pratique.

## 4. Encourager la collaboration et l'échange

La collaboration entre les acteurs du secteur de la construction est un élément clé pour la mise en œuvre réussie de l'économie circulaire. Le gouvernement peut jouer un rôle de catalyseur en encourageant et en facilitant cette coopération. En effet, les participants ont déclaré que le gouvernement joue un rôle essentiel pour l'amélioration des pratiques car il joue un rôle de référent pour plusieurs aspects. Ainsi, des outils collaboratifs comme des plateformes d'échanges et de données peuvent être mises en place et gérées par le gouvernement pour supporter l'industrie. Les entrepreneurs, les économistes et les bureaux d'études environnementaux pourraient y partager leurs connaissances et leurs bonnes pratiques pour promouvoir l'utilisation du coût global dans les projets, mais aussi leurs ressources.

## 5. Engager les clients et les municipalités

Les clients ont un rôle significatif à jouer en définissant des exigences environnementales dans les projets. Une sensibilisation ciblée sur les avantages économiques de solutions environnementales, ou des subventions pour un projet bien mené tout au long du cycle de vie, peut encourager les clients à inclure la démonstration de ces critères

---

dans leurs demandes. De plus, pour faciliter l'estimation des coûts globaux et environnementaux, il a été suggéré par des participants que les municipalités développent une expertise dans ce domaine. Cette compétence municipale peut soutenir les entreprises en les guidant vers une évaluation complète de ces coûts et en harmonisant les pratiques à l'échelle locale.

## Axe 2 : Démocratiser l'Information et mettre la connaissance à la portée des acteurs de l'industrie

L'axe 2 vise à garantir que les informations et les connaissances nécessaires à l'estimation des coûts environnementaux soient accessibles à l'ensemble des acteurs de l'industrie de la construction. Cela implique de promouvoir la recherche et le développement, de faciliter la collecte et la diffusion de données fiables, de promouvoir la transparence des coûts et d'encourager l'utilisation d'outils technologiques.

### 1. Promouvoir la recherche et l'éducation

Le gouvernement joue un rôle clé en soutenant la recherche et l'éducation. En investissant dans la recherche, de nouvelles méthodologies et outils peuvent être développés pour améliorer les

lacunes identifiées. Puis, le contexte climatique actuel étant possiblement une nouvelle réalité, il est impératif de former les futurs professionnels à ces nouvelles méthodes de travail. La promotion de programmes de formations adaptés et de projets de recherches appliqués facilitera cette formation et inculquera le changement de paradigme nécessaire à l'industrie.

### 2. Faciliter la collecte et la diffusion de données fiables

La qualité des données utilisées pour l'estimation des coûts globaux environnementaux est cruciale et fait partie des plus grandes difficultés de la part des praticiens. Tel que mentionné précédemment, des plateformes d'échanges peuvent faciliter cette diffusion et collecte si cette dernière respecte un système de qualité adéquat. Les participants ont aussi mentionné que les municipalités disposaient parfois de nombreuses données inexploitées. Une étude des ressources à disposition et d'intérêt de ces données permettrait de trouver des solutions pour les mettre à disposition efficacement au service de la province.

### 3. Standardiser les pratiques

L'uniformité des méthodes de travail est un facteur essentiel pour faciliter l'échange de données et leur exploitation pour un intérêt commun. En tant qu'organisme de référence, le gouvernement peut

---

faciliter cette standardisation. Parmi les bénéfices que l'on peut en tirer, la réduction des incertitudes peut être atteinte en fournissant des hypothèses de calcul de références et des scénarios types de stratégies circulaires qui auraient été approuvées au Québec. Comme recommandé précédemment, la mise en place de projets pilotes peut faciliter et tester les stratégies et paramètres de calculs les plus pertinents pour l'industrie québécoise.

#### 4. Encourager l'utilisation de nouvelles technologies

L'utilisation de nouvelles technologies de l'information dans le secteur de la construction est une nouvelle tendance qui va entraîner un changement profond les pratiques. Il est donc primordial d'accompagner ce changement pour l'orienter en adéquation avec des objectifs durables. L'intégration de bases de données, d'outils technologiques spécialisés et de l'utilisation du BIM constitue un levier essentiel pour améliorer l'estimation des coûts globaux et environnementaux dans les projets de construction. Le gouvernement peut inciter ces utilisations grâce aux plans gouvernementaux existants mais aussi en finançant des projets de numérisation des données.

### Axe 3 : Établir des objectifs clairs pour une Progression Éclairée.

L'axe 3 de recommandations se concentre sur la mise en place d'objectifs définis pour guider une progression éclairée dans la prise en compte des coûts globaux et environnementaux dans les projets de construction. Cet axe vise à fournir des stratégies et des outils pour évaluer, intégrer et prendre en compte les coûts de manière cohérente et informée.

#### 1. Définir une stratégie circulaire collective

Le gouvernement peut initier le développement d'une stratégie collective qui établit une vision claire pour l'intégration des coûts globaux et circulaires dans les projets de construction. Cette stratégie pourrait se servir de consultations et de discussions avec les acteurs de l'industrie, notamment les entreprises, les associations en construction, les organismes de recherches et les universités. Cela permettra de recueillir des perspectives variées pour façonner une stratégie inclusive. Ces discussions permettraient aussi une analyse approfondie des pratiques actuelles et faisables en termes de réutilisation, récupération et revalorisation d'éléments de constructions pour proposer des objectifs clairs, et assurer une transition progressive vers une construction plus durable.

---

## 2. Réglementations et incitations

La mise en place de réglementations peut renforcer la prise en compte des coûts environnementaux par les entreprises. Grâce à cela il est possible de viser certains impacts précis et imposer des coûts réglementaires pour les réduire. En collaboration avec l'industrie, il pourrait être étudié des impacts en constructions, notamment concernant l'utilisation et la gestion des ressources qui pourraient être réduits par des stratégies circulaires. Ainsi, des réglementations pourraient être mises en place pour inciter les entreprises qui ne les respectent pas par des pénalités ou au contraire, encourager celles qui les respectent par avantages fiscaux ou des subventions.

## 3. Intégrer des critères circulaires dans les appels d'offres

L'inclusion de critères circulaires dans les appels d'offres peut favoriser la prise en compte de leurs coûts dès le stade de la planification. Cette approche exprimera clairement l'importance de l'aspect environnemental et encouragera les entreprises à adopter des nouvelles stratégies pour répondre aux exigences. Il pourrait être nécessaire d'apporter des améliorations dans les communications entre les départements afin de coordonner ces exigences avec les contraintes de réalisation des travaux.

## 4. Toucher le plus grand nombre grâce aux permis de construire

Afin de multiplier les pratiques d'estimations pour stimuler leur compréhension et encourager l'adoption de meilleures pratiques, l'utilisation des permis de construire peut être un atout pour les collectivités. Des critères de circularité pourraient être intégrés et les demandeurs de permis pourraient y signaler des pratiques qui pourraient entraîner un coût de gestion à la municipalité. Ces pratiques pourraient faire l'objet d'études pour définir des catégories et en faciliter l'identification. Aussi, en intégrant des mécanismes d'incitation, tels que des réductions de frais de permis ou des avantages fiscaux pour les projets qui démontrent une prise en compte de ces coûts, cela pourrait encourager les particuliers à mettre en œuvre des pratiques durables.

## En Résumé...

Les résultats de l'étude ont permis de proposer une série de recommandations articulée autour de trois axes visant à encourager une vision globale des projets, faciliter l'accès à l'information et la connaissance et à établir des objectifs de progression clairs pour l'industrie.



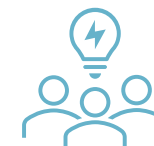
Axe 1 :

Immiscer et accompagner une vision globale et Intégrée des projets de construction



Axe 2 :

Démocratiser l'Information et mettre la Connaissance à la Portée des acteurs de l'industrie



Axe 3 :

Établir des objectifs clairs pour une Progression Éclairée

1. Sensibiliser et former
2. Inciter par des mesures fiscales
3. Mener des projets pilotes
4. Encourager la collaboration et l'échange
5. Engager les clients et les municipalités

1. Promouvoir la recherche et l'éducation
2. Faciliter la collecte et la diffusion de données fiables
3. Standardiser les pratiques
4. Encourager l'utilisation de nouvelles technologies

1. Définir une stratégie circulaire collective
2. Réglementations et incitations
3. Intégrer des critères circulaires dans les appels d'offres
4. Toucher le plus grand nombre grâce aux permis de construire

---

## Conclusion

L'adoption des nouvelles technologies de l'information et la crise climatique globale actuelle font que l'industrie de la construction est à l'aube d'un changement de paradigme dans ses pratiques. Il est donc vital d'accompagner ce changement en mettant en œuvre dès maintenant des méthodes innovantes qui assureront la productivité du secteur afin de répondre aux demandes croissantes en infrastructures, tout en minimisant l'impact sur l'environnement et les ressources naturelles. Ce rapport présente donc des recommandations pour le développement de politiques et stratégies afin de supporter l'économie circulaire en construction grâce à l'approche du coût global. Ces recommandations sont organisées autour de trois axes. L'axe 1 a pour but d'encourager la création d'un environnement propice. L'axe 2 vise à encourager la diffusion de l'information et des connaissances. Finalement, l'axe 3 a pour objectif d'établir des objectifs clairs pour guider une progression dans la transition vers une économie circulaire. En encourageant les pratiques circulaires, les ressources pourront être maîtrisées tout au long du cycle de vie des projets. Alliées à l'approche du coût global, ces pratiques pourront être utilisées à bon escient afin de concevoir des projets durables en termes de l'environnement, du social, et de l'économie.

---

## Références

Albuquerque, T. L. M., Mattos, C. A., Scur, G., & Kissimoto, K. (2019). Life cycle costing and externalities to analyze circular economy strategy: Comparison between aluminum packaging and tinplate. *Journal of Cleaner Production*, 234, 477-486. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.091>

Alejandrino, C., Mercante, I. T., & Bovea, M. D. (2022). Combining O-LCA and O-LCC to support circular economy strategies in organizations: Methodology and case study. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130365>

Antikainen, R., Lazarevic, D., & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: Origins and Future Orientations. Dans H. Lehmann (Éd.), *Factor X: Challenges, Implementation Strategies and Examples for a Sustainable Use of Natural Resources* (pp. 115-129). Cham : Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-50079-9\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-50079-9_7)

Bertelsen, S. & Sven. (2003). Construction as a Complex System. *Proceedings for the 11th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.

Braakman, L., Bhochhibhoya, S., & de Graaf, R. (2021). Exploring the relationship between the level of circularity and the life cycle costs of a one-family house. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105149. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105149>

Bradley, R., Jawahir, I. S., Badurdeen, F., & Rouch, K. (2018). A total life cycle cost model (TLCCM) for the circular economy and its application to post-recovery resource allocation. *Resources, Conservation and Recycling*, 135,

141-149. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.017>

Brent, E., & Leedy, P. D. (1990). Practical Research: Planning and Design. *Teaching Sociology*, 18(2), 248. <https://doi.org/10.2307/1318509>

Caniato, F. (2014). Total cost of ownership along the supply chain: a model applied to the tinting industry, 12.

Carra, G., & Magdani, N. (2017). *Circular Business Model For the Built Environment*. Arup & BAM. Repéré à <https://www.arup.com/perspectives/publications/research/section/circular-business-models-for-the-built-environment>

Charef, R., Morel, J.-C., & Rakhshan, K. (2021). Barriers to Implementing the Circular Economy in the Construction Industry: A Critical Review. *Sustainability*, 13(23), 12989. <https://doi.org/10.3390/su132312989>

Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory*. London ; Thousand Oaks, Calif : Sage Publications.

Cole, R. J., & Sterner, E. (2000). Reconciling theory and practice of life-cycle costing. *Building Research & Information*, 28(5-6), 368-375. <https://doi.org/10.1080/096132100418519>

Di Biccari, C., Abualdenien, J., Borrmann, A., & Corallo, A. (2019). A BIM-Based Framework to Visually Evaluate Circularity and Life Cycle Cost of buildings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 290, 012043. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/290/1/012043>

ECON Analysis. (2005). *Developing Guidelines for Economic Evaluation of Environmental Impacts in EIA* (Rapport No. 042).

Ellen MacArthur Fondation. (2013). *Towards the Circular Economy* (Rapport No. 1).

---

Ellen MacArthur Foundation, & ARUP. (2019). *Urban buildings systems summary - Circular economy in cities*. Repéré à <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-opportunity-and-benefit-factsheets>

Farr, J. V., & Faber, I. (2018). *Engineering economics of life cycle cost analysis*. Boca Raton, FL : CRC Press/Taylor and Francis Group.

Ghisellini, P., Ripa, M., & Ulgiati, S. (2018). Exploring environmental and economic costs and benefits of a circular economy approach to the construction and demolition sector. A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 618-643. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.207>

Giorgi, S., Lavagna, M., & Campioli, A. (2019). LCA and LCC as decision-making tools for a sustainable circular building process. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 296, 012027. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012027>

Giuffrè, O., Granà, A., Giuffrè, T., Acuto, F., & Lo Pinto, A. (2021). Life-Cycle Costing Decision-Making Methodology and Urban Intersection Design: Modelling and Analysis for a Circular City. Dans E. Macioszek & G. Sierpiński (Éds), *Research Methods in Modern Urban Transportation Systems and Networks* (pp. 59-86). Cham : Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-71708-7\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-71708-7_5)

GMT, & I-EDDEC. (2018). *Économie circulaire au Québec : opportunités et impacts économiques*. Repéré à <https://www.quebeccirculaire.org/articles/h/economie-circulaire-au-quebec-opportunités-et-impacts-économiques.html#:~:text=%C2%AB%20L'%C3%A9conomie%20circulaire>

<https://www.quebeccirculaire.org/articles/h/economie-circulaire-au-quebec-opportunités-et-impacts-économiques.html#:~:text=%C2%AB%20L'%C3%A9conomie%20circulaire>

Gollier, C. (2012). Actualisation et développement durable : en faisons-nous assez pour les générations futures? *Annals of Economics and Statistics*, 57. <https://doi.org/10.2307/23646353>

Guerra, B. C., Shahi, S., Mollaei, A., Skaf, N., Weber, O., Leite, F., & Haas, C. (2021). Circular economy applications in the construction industry: A global scan of trends and opportunities. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129125. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129125>

Halog, A., & Anieke, S. (2021). A Review of Circular Economy Studies in Developed Countries and Its Potential Adoption in Developing Countries. *Circular Economy and Sustainability*, 1(1), 209-230. <https://doi.org/10.1007/s43615-021-00017-0>

Higham, A., Fortune, C., & James, H. (2015). Life cycle costing: evaluating its use in UK practice. *Structural Survey*, 33(1), 73-87. <https://doi.org/10.1108/SS-06-2014-0026>

ISO. (2017). ISO 15686-5:2017 Bâtiments et biens immobiliers construits — Prévission de la durée de vie — Partie 5: Approche en coût global.

Jafari, A., Valentin, V., & Russell, M. (2014). Probabilistic Life Cycle Cost Model for Sustainable Housing Retrofit Decision-Making. Dans *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (pp. 1925-1933). Orlando, Florida, United States : American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784413616.239>

Jasch, C. (2000). What are environmental costs? *Social and Environmental Accountability Journal*, 20(1), 1-6.

---

<https://doi.org/10.1080/0969160X.2000.9651624>

Kambanou, M. L., & Sakao, T. (2020). Using life cycle costing (LCC) to select circular measures: A discussion and practical approach. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104650. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104650>

Kerdlap, P., & Cornago, S. (2021). Life Cycle Costing: Methodology and Applications in a Circular Economy. Dans L. Liu & S. Ramakrishna (Éds), *An Introduction to Circular Economy* (pp. 499-525). Singapore : Springer. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4\\_25](https://doi.org/10.1007/978-981-15-8510-4_25)

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy\_ An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation & Recycling*, 127, 221-232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>

Kishk, M., Al-Hajj, A., Pollock, R., Aouad, G., Bakis, N., & Sun, M. (2003). WHOLE LIFE COSTING IN CONSTRUCTION: A STATE OF THE ART REVIEW, 67.

McKinsey & Company. (2020). *The next normal in construction*.

MEDDAT, F. (2009, 10 février). Calcul du Coût Global Objectifs, méthodologie et principes d'application selon la Norme ISO/DIS 15686-5. Ministère de l'écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'aménagement du territoire de la France.

Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and Recycling*, 153, 104553. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553>

Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369-380.

<https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>

Norouzi, M., Chafer, M., Cabeza, L. F., Jimenez, L., & Boer, D. (2021). Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis | Elsevier Enhanced Reader. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102704>

Pearce, A. R., Sanford Bernhardt, K. L., & Garvin, M. J. (2010). Sustainability and socio-enviro-technical systems: Modeling total cost of ownership in capital facilities. Dans *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference* (pp. 3157-3169). Baltimore, MD, USA : IEEE. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5679008>

Potting, J., Hekkert, M., Worrell, E., & Hanemaaijer, A. (2017). CIRCULAR ECONOMY: MEASURING INNOVATION IN THE PRODUCT CHAIN.

Preston, B. J. (2015). Economic Valuation of the Environment. *Land and Environment Court Annual Conference*.

Rahla, K., Mateus, R., & Bragança, L. (2021). Implementing Circular Economy Strategies in Buildings—From Theory to Practice. *Applied System Innovation*, 4(2), 26. <https://doi.org/10.3390/asi4020026>

Schneider-Marin, P., & Lang, W. (2020). Environmental costs of buildings: monetary valuation of ecological indicators for the building industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(9), 1637-1659. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01784-y>

United Nations Environment Programme (2022). (2022). 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector.

Verberne, J. J. H. (2016). *Building circularity indicators: an approach for measuring circularity of a building*. Repéré à

---

<https://research.tue.nl/en/studentTheses/building-circularity-indicators>

Voegtlin, C., & Scherer, A. G. (2017). Responsible Innovation and the Innovation of Responsibility: Governing Sustainable Development in a Globalized World. *Journal of Business Ethics*, 143(2), 227-243. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2769-z>

Wang, Y., Pang, B., Zhang, X., Wang, J., Liu, Y., Shi, C., & Zhou, S. (2020). Life Cycle Environmental Costs of Buildings. *Energies*, 13(6), 1353. <https://doi.org/10.3390/en13061353>

Weitzman, M. L. (1998). Why the Far-Distant Future Should Be Discounted at Its Lowest Possible Rate. *Journal of Environmental Economics and Management*, 36(3), 201-208. <https://doi.org/10.1006/jeem.1998.1052>

Wouterszoon Jansen, B., van Stijn, A., Gruis, V., & van Bortel, G. (2020). A circular economy life cycle costing model (CE-LCC) for building components. *Resources, Conservation and Recycling*, 161, 104857. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104857>

Yousfi, A., Poirier, E., & Forgues, D. (2022). Synergies between BIM & WLC.

Yu, Y., Yazan, D. M., Junjan, V., & Iacob, M.-E. (2022). Circular economy in the construction industry: A review of decision support tools based on Information & Communication Technologies. *Journal of Cleaner Production*, 349, 131335. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131335>

# ANNEXE 1: Étude exploratoire du Lab Constrution équipe solution #4 du CERIEC



## Indice de circularité dans le domaine de la construction - Revue de littérature

*Ce document a été réalisé pour le CERIEC, dans le cadre du projet de métabolisme urbain réalisé en 2021-2022 par Marie Vigier.*

**Résumé :** Le présent document a pour but de faire une revue des connaissances académiques actuelles sur les indices de circularité qui existent aujourd'hui pour le domaine de la construction. L'analyse de **16 articles** et publications sur la **période (2016 - 2022)** y est réalisée. De ces références, **9 indicateurs de circularité** adapté à différents niveaux (de l'analyse des matériaux, à celle de structures ou encore de parcs industriels) et selon différentes étapes (conception, construction, fin de vie ...) ont été identifiés. Seulement les articles les plus pertinents à un état de l'art des indices de circularité dans le domaine de la construction ont été retenus.

En résumé, les recherches de circularité dans le domaine de la construction sont relativement récentes, et plus encore pour ce qui a trait aux indicateurs de circularité. Il n'existe pas encore de méthodologie standardisée et les indicateurs existants font toujours l'objet d'un débat ouvert. Actuellement, l'indicateur le plus utilisé en pratique pour mesurer la circularité dans le domaine de la construction est celui de la fondation Ellen Mac Arthur (ou des adaptations de ce dernier). Il se concentre principalement sur trois aspects : la quantité de matériaux vierges utilisés ; la quantité de déchets non récupérables ; et la durée de vie des produits. Toutefois, pour le milieu de la construction, une méthodologie holistique couvrant l'évaluation circulaire au niveau macro (impact des matériaux), méso (chaîne d'approvisionnement) et micro (conception) doit encore être pleinement développée. D'autres considérations sur les différentes phases de vie d'un bâtiment s'ajoutent, concernant les phases d'opération (symbioses industrielles, utilisation des bâtiments) et de fin de vie (potentiel de désassemblage, gestion des CRD, etc.). Il n'existe pas à ce jour de méthode standardisée pour calculer un indicateur de circularité d'un bâtiment. A ce jour, aucune des méthodes de mesure existantes ne s'est établie comme une norme pour la circularité dans le milieu de la construction, les indicateurs de circularité restent à développer et la possibilité de leur mise en place pratique reste à être vérifiée. Qui plus est, on peut noter le fait que la considération des impacts environnementaux manque encore à la plupart des approches de la circularité, et que de nombreuses références mettent en avant l'importance de les y incorporer.

Le présent document s'organise comme suit :

---

**Glossaire :** *Cette feuille donne la définition de concepts connexes au sujet de circularité dans le domaine de la construction qui ont été rencontrés dans les différentes références.*

---

**Etat de l'art :** *Cette feuille donne une idée de la littérature actuellement disponible au sujet des indices de circularité dans le domaine de la construction. Les recherches ont été identifiées sur la plateforme Web of Science et ensuite analysées grâce au logiciel VosViewer. Les titres et abstract de chaque référence ont été comparés afin d'identifier les concepts communs entre les différents documents identifiés avec les mêmes mots clefs.*

---

**Indices de Circularité :** *Cette feuille référence les différents indicateurs de circularité identifiés. Ces derniers sont à différents stades de développement (application concrète ou encore développement et recherches scientifiques) et s'adressent à différents aspects du domaine de la construction (matériaux, procédés, symbioses industrielles ...). A noter que seulement les indicateurs jugés les plus pertinents au domaine de la construction ont été recensés, afin de refléter au mieux les enjeux propres à ce domaine. Les types de données nécessaires, méthodologies et limites de chacune des méthodes / indices de circularité y sont notés.*

---

**Indicateurs de suivi / d'impact :** *Pour compléter les indices de circularité identifiés, des indicateurs complémentaires d'impact environnemental ou de suivi ont été ajoutés (comme il s'agit d'un point qui a été relevé dans différentes références). Ces derniers proviennent majoritairement de la référence 9, et de mes connaissances spécifiques des indicateurs. Il s'agit d'une liste non exhaustive d'indicateurs qui seraient pertinents à mesurer pour l'évaluation d'impacts environnementaux liés au milieu de la construction. Y sont présentés : les principales méthodes pour chaque indicateur, les unités de mesure, les limites de durabilité auxquelles ils peuvent être comparés, leurs avantages et limites.*

---

**Références :** *Liste des références analysées dans ce document avec le nom des auteurs, années de parution et titres des documents.*

---

Concepts / bases de données	Définition	Identifié dans la référence	Références additionnelles
<b>Passeports de matériaux</b>	Les passeports de matériaux sont un ensemble de données numériques d'un bâtiment spécifique, fournissant un inventaire détaillé de tous les matériaux, composants et produits utilisés dans un bâtiment, ainsi que des informations détaillées sur les quantités, les qualités, les dimensions et les emplacements de tous les matériaux. l'emplacement de tous les matériaux)	[1;5]	
<b>"mines urbaines" (Urban mining)</b>	Processus économique qui consiste à considérer la réintroduction des stocks anthropiques (bâtiments, infrastructures, etc.) comme "nouvelles matières premières". De ce point de vue, les villes pourraient devenir les prochaines mines de matières premières à exploiter en raison de leurs stocks importants.	[1]	
<b>Potentiel de réutilisation (Reuse potential)</b>	Il s'agit d'un indicateur permettant de calculer la possibilité de réutiliser un matériau donné en tant que matériau de seconde main. Ce concept est complémentaire d'un Indice de Circularité, comme il renseigne sur les matériaux à favoriser pour pouvoir favoriser une économie circulaire.	[13]	<a href="#">Park, J. Y., &amp; Chertow, M. R. (2014).</a>
<b>ÖKOBAUDAT platform</b>	Base de donnée allemande standardisée pour faire l'évaluation environnementale des bâtiments. Des données sur l'analyse de cycle de vie des matériaux de construction, procédés, transports, énergie et méthodes de disposition y sont disponibles gratuitement. Des indicateurs massiques (en kg) liés à la réutilisation, potentiel de recyclabilité y sont donnés.	[13]	<a href="https://www.oekobaudat.de/no-cache/en/database/search.html">https://www.oekobaudat.de/no-cache/en/database/search.html</a>
<b>Hiérarchie des déchets Waste Hierarchy</b>	Introduite par le <i>Eu Waste Framework Directive</i> , la hiérarchie des déchets se compare aux 3R et prend particulièrement en compte l'ordre de priorité dans le traitement des déchets par le biais d'une pyramide à cinq niveaux, de l'option la plus privilégiée de la "prévention" à l'option la moins privilégiée de l'"élimination". Tient compte du up et down cycling. La référence donne en l'occurrence les différents niveaux de traitement de matériaux de construction connus.	[11]	
<b>Compromis écologiques</b>	Le fait de diminuer l'impact environnemental d'un capital naturel, toutefois au détriment d'un autre ( ex : baisse des émissions de CO2 mais augmentation de la consommation d'eau douce, dégradation des sols, baisse de la biodiversité ... )	[17]	
<b>Nomenclature Bill of Materials (BoM)</b>	Recense les informations sur les matériaux spécifiques d'un bâtiment telles que : La couche du bâtiment à laquelle ils appartiennent (6 couches de Brand); un description brève de ces matériaux , une stratégie de fin de vie (réparation, réutilisation, remanufacturation, non réutilisables, etc.), la quantité exacte en kg ; et les quantités d'énergie et de carbone intrinsèque de ces matériaux.	[5]	
<b>Règle de Pareto</b>	L'exigence de la règle de Pareto a été fixée pour aider les praticiens, lors de l'audit de remise en état, à éviter de perdre du temps à identifier des composants négligeables en termes de masse et d'impact environnemental. Il s'agit d'une technique statistique de prise de décision qui identifie un nombre limité de facteurs d'entrée comme ayant un impact plus important sur les résultats, qu'ils soient positifs ou négatifs. Elle est basée sur le principe de Pareto, plus connu sous le nom de "règle des 80/20", qui stipule que 80 % des flux sortants résultent de 20 % des flux intrants.	[5]	<a href="https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Pareto_analysis_in_construction#:~:text=Put%20simply%2C%20Pareto%20analysis%20shows,a%20large%20number%20of%20causes.">https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Pareto_analysis_in_construction#:~:text=Put%20simply%2C%20Pareto%20analysis%20shows,a%20large%20number%20of%20causes.</a>
<b>Conception pour désassemblage Design for Disassembly (DfD)</b>	La conception en vue du désassemblage est un principe fondamental qui influe sur les décisions et les choix de matériaux, en modifiant la façon dont les matériaux sont assemblés et superposés d'une manière accessible, réversible et robuste.	[5]	
<b>Plateforme Madaster</b>	Les matériaux, produits et éléments qui sont utilisés dans les objets de construction sont enregistrés et documentés sur la plateforme Madaster. Toutes les données sont stockées de manière sécurisée, enrichies intelligemment, partagées et gérées facilement. Le tout de manière à ce que les propriétaires et/ou gestionnaires de biens immobiliers et d'infrastructures disposent toujours d'informations actualisées sur la valeur financière et circulaire, la toxicité, la démontabilité et le potentiel de réutilisation des matériaux et produits appliqués dans leurs propriétés.	[1;5]	<a href="https://madaster.com/platform/">https://madaster.com/platform/</a>
<b>Les six couches de Brand 6 layers of Brand</b>	Un bâtiment peut être considéré selon plusieurs couches dont les durées de vie diffèrent : le <b>Site</b> dure éternellement, la <b>Structure</b> de 30 à 100 ans, la <b>Peau</b> au moins pour 20 ans, les <b>Services</b> entre 7-20 ans, le <b>Plan d'Espace et le Matériel</b> ne durent pas plus de 10 ans.	[5]	<a href="https://minnesotapower.blob.core.windows.net/content/Content/Documents/EnergyDesignConference/PresentationMaterials/2019/Day2/Six-Layers-A-Framework-for-More-Sustainable-Building.pdf">https://minnesotapower.blob.core.windows.net/content/Content/Documents/EnergyDesignConference/PresentationMaterials/2019/Day2/Six-Layers-A-Framework-for-More-Sustainable-Building.pdf</a>

## Etat de l'art : Indice de circularité dans la construction

Revue de la littérature et limites

Numéro de l'essai	1	2	3	4	
Plateforme de recherche	Web of science	Web of science	Web of Science	Web of Science	
Mots clefs	Construction, circularity index	Construction, circularity, indicator	Circularity, construction	recyclability, construction	
Nombre de documents trouvés	19	25	276	648	Renseigne sur le nombre de références présentes dans la littérature scientifique / importance qui est attribuée à ces concepts
Full counting ; nombre d'apparition de termes (titre et abstract)	5	7	10	10	
Nombre de documents qui contiennent ces termes	23	26	25	18	Renseigne sur les concepts communs entre les différents documents identifiés pour le même set de mots-clefs. Permet d'identifier l'homogénéité des documents et les concepts qu'ils ont en commun
Années	2005 - 2022	1994 - 2022	1989 - 2022	1995 - 2022	Renseigne sur l'aspect novateur du sujet
Pic de publication	2021 (7)	2021 (12)	2021 (82)	2021 (156)	Renseigne sur le pic de popularité du sujet

\* Les cartes correspondant aux différentes recherches sont classées ci-dessous dans le même ordre que les essais effectués.

La recherche sur la circularité et les indicateurs de circularité dans le domaine de la construction sont relativement récents (peu de références à ce jour par rapport à la circularité ou encore la recyclabilité).

On voit que la recyclabilité est plus populaire que la circularité dans la littérature de recherche scientifique liée au domaine de la construction. Toutefois le sujet est plus épars : moins de documents sont rassemblés sous des concepts similaires que ce n'est le cas pour la circularité. De plus les concepts communs présentent moins de lien entre eux (voir cartes).

2021 représente un pic de recherche dans le domaine de la construction et des meilleures pratiques liées au domaine.

### Principales limites identifiées pour mesurer la circularité des bâtiments [6]:

\* **Différentes définition de l'économie circulaire** : peuvent participer à rendre le concept trop vague et nuire à son but premier (réduire les impacts environnementaux)

\* **La complexité propre aux bâtiments** : Les bâtiments doivent faire l'objet d'une planification adéquate dès le début pour adopter la conception circulaire. La pratique de la "structure unique" d'un bâtiment peut compliquer l'évaluation.

\* **Mesurer la circularité vs. la durabilité** : Les deux concepts se recoupent et partagent un but commun de préservation des ressources, de développement économique et améliorations sociales, mais la mesure de la circularité ne s'adresse généralement qu'à un aspect matériel

\* **Indicateurs arbitraires, obsolètes ou non reliés** : les principaux composants des outils d'évaluation sont des indicateurs, ils doivent donc être choisis avec précaution et adéquatement représenter les objectifs poursuivis.

\* **Collecte et gestion des données** : les données nécessaires pour alimenter l'outil d'EC peuvent être soit rares, soit surabondantes, ce qui peut consommer du temps et des ressources pour les rassembler et les gérer. Au niveau du bâtiment, un outil secondaire comme le BIM pourrait faciliter l'évaluation, tout en établissant des normes pour la collecte des données afin de faciliter l'accès aux données.

\* **Mesure des aspects sociaux** : L'aspect social est généralement négligé lors de l'évaluation de la durabilité des bâtiments. Mesurer cette dimension implique généralement une évaluation subjective qui finit par affaiblir la méthodologie globale.

\* **Biais de pondération et notation** : L'agrégation des résultats de l'évaluation selon un système de pondération prédéfini peut révéler certaines limites. La pondération doit correspondre clairement à l'objectif et à la portée de l'EC dans les bâtiments tout en restant "ouverte" pour adapter les scénarios locaux.

Domaines	Indicateurs de suivi/d'impact	Méthodologies / Cadres d'évaluation	Métriques	Limite de durabilité établie	Définitions	Avantages	Limites	Références
Énergie	* Demande en énergie cumulée	* ACV	$GJ / an; GJ/m^2; kWh/ankWh/m^2$	-	Il s'agit de la quantité totale d'énergie nécessaire à la production d'un produit (ou d'un service) estimée sur l'ensemble de son cycle de vie. Cela comprend l'énergie nécessaire à l'extraction des matières premières, aux processus de fabrication et à l'élimination finale.	Permet d'associer une consommation en énergie (important point de l'EC) aux stratégies d'EC mises en œuvre. Intéressant pour les procédés énergivores.	N'a pas de méthode standardisée, mais une association allemande d'ingénieurs a proposé une méthodologie appelée VDI4600 à cet effet. Ne prend pas en compte les impacts environnementaux en tant que tels. Plutôt un indicateur complémentaire pour les impacts Application plutôt pour un niveau micro (Compagnies&produits)	9, 19
	* Énergie intrinsèque	* ACV	MJ/kg	-	Calculée comme la somme de tous les flux d'énergie directs et indirects nécessaires à la production d'un produit ou d'un service, il s'agit d'une mesure de la quantité d'énergie incorporée dans le produit lui-même, ce qui en fait un outil fiable pour identifier les inefficacités dues à l'utilisation de l'énergie. Cet indicateur indique généralement la quantité d'énergies non renouvelables par unité de masse d'un produit (MJ/kg)		Ne prend pas en compte les impacts environnementaux en tant que tels. Plutôt un indicateur complémentaire pour les impacts Application plutôt pour un niveau micro (Compagnies&produits)	
	* Énergie	* Analyse d'énergie	seJ	-	Représente l'estimation de la quantité totale d'énergie - directe et indirecte - nécessaire à la production d'un produit ou d'un service, estimée en unités d'un seul type d'énergie, généralement l'énergie solaire. Cette méthode permet d'évaluer la quantité ainsi que la qualité de l'énergie nécessaire à la production d'un produit/service, fournissant surtout des informations sur l'efficacité de l'utilisation de l'énergie.	Permet d'associer une consommation en énergie (important point de l'EC) aux stratégies d'EC mises en œuvre. Intéressant pour les procédés énergivores. Donne des indications sur la quantité et qualité de l'énergie utilisée.	Les facteurs de transformation (SeJ) sont plutôt difficiles d'accès. La méthode n'est pas encore standardisée	
	* Exergie	* Analyse d'exergie	J	-	Cet indicateur est basé sur l'estimation d'un seul indicateur défini comme "la quantité maximale de travail qui peut être produite par un système ou un flux de matière ou d'énergie lorsqu'il atteint l'équilibre avec un environnement de référence"	Méthodes appliquées aux niveaux micro (Compagnies&produits)/meso (parks industriels)/macro (villes, région et nations)	Méthode pas encore standardisée	
Cycles naturels	* Empreinte azote			Globale	L'empreinte azote mesure les émissions de N réactif dans l'atmosphère et dans les masses d'eau. Dans plusieurs études, l'empreinte azote inclut également les émissions de N <sub>2</sub> , qui ne contribue à aucune pression environnementale et ne dépend pas d'une ressource rare, mais donne une comparaison avec la création anthropique d'azote			9, 17, 19, 20
	* Empreinte phosphore	* WRDS (Weighted Regression on Time Discharge and Seasonality) * ACV (Eco LCA inventory / Ecoinvent database)	mg/L; %; Mtonnes/an	Globale	L'empreinte du phosphore mesure à la fois l'utilisation du P en tant que ressource et les pertes de P dans les masses d'eau. La première mesure est très pertinente car les stocks de P exploitables (phosphate naturel) sont limités. La libération de P des sols vers l'hydrosphère dépend de plusieurs facteurs, en particulier du type de sol, qui pourrait être en mesure de lier une grande partie de l'apport en P et de le rendre indisponible à la fois pour l'absorption par les plantes et pour les pertes environnementales	Se compare à des limites planétaires (substances chimiques) qui sont déjà dépassées et sont donc importantes à contrôler.	Méthodes peu standardisées et peu de références académiques sur le sujet. Quelques références seulement sur les décharges de pollution de l'eau dans le milieu de la construction [18]	
	* Empreinte Hydrique (totale, verte, grise, bleue)	* ISO14046 * Water Footprint Network Standard	L/pers/an; m <sup>3</sup> /pers/an; L/an; m <sup>3</sup> /an; m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Globale / Locale	Cet indicateur renseigne sur les impacts environnementaux potentiels liés à l'eau douce sur la base d'une approche du cycle de vie, en identifiant le volume total d'eau consommée (bleue), l'eau de pluie stockée dans le sol (verte) ou polluée (grise) tout au long de la chaîne d'approvisionnement du bien/service, en tenant compte également de l'état actuel du bassin hydrologique d'où provient l'eau. L'eau potable dépend fortement du contexte, car la disponibilité de l'eau douce dépend de l'espace et du temps.	L'utilisation de cette empreinte pourrait favoriser l'identification des étapes du cycle de vie ayant le plus d'impact en se concentrant sur l'efficacité et la gestion de l'utilisation de l'eau. Elle peut être utile pour soutenir les processus de prise de décision et de communication menés par les gouvernements, les ONG et les entreprises - elle peut donc être appliquée aux trois niveaux micro (Compagnies&produits)/meso (parks industriels)/macro (villes, région et nations) La méthode a l'avantage d'être standardisée	Ne considère pas les autres catégories d'impact	
Utilisation des Terres	* Empreinte écologique	* Analyse d'empreinte écologique * Tables d'entrée-sortie	gha gha/cap	Globale / Locale	Estime la capacité biologique de la planète consommée par une activité humaine ou une population spécifique. En détail, l'EF fournit une mesure de la quantité totale de terres productives requises - y compris la demande de nourriture, de cultures, de bois, d'énergie, d'espace pour les infrastructures et la surface nécessaire pour absorber les émissions de carbone générées.	L'indicateur fournit indirectement une évaluation de la combinaison de différentes incidences environnementales, telles que le changement d'affectation des terres, la consommation de poisson, les émissions de CO <sub>2</sub> (important pour les compromis écologiques). La méthode d'évaluation est standardisée par l'organisme du Global Footprint Network. Méthode applicable aux niveaux micro (Compagnies&produits)/meso (parks industriels)/macro (villes, région et nations) Facilite la communication synthétique des résultats	L'accessibilité des données, leur qualité, et régionalité peuvent requérir un effort important pour le calcul d'empreinte écologique	9
	* Indice de processus durable	* ACV	m <sup>2</sup> /cap/unit/product m <sup>2</sup> /unit/product	Globale / Locale	Cette méthode vise à évaluer la surface nécessaire pour soutenir les activités humaines tout au long de leur cycle de vie - en détail, elle mesure la surface totale nécessaire pour intégrer un produit/service, de manière durable, dans la biosphère. Le calcul est basé sur les flux de masse et d'énergie estimés au cours de la période de référence ; il est donc dépendant de l'espace et du temps.	Permet d'évaluer l'impact des procédés ou activités d'une région en mesurant les flux énergétiques et matériels	Besoin de beaucoup de données locales/régionales (qui sont généralement incertaines dans de courtes périodes de temps) et le calcul de cet indicateur est chronophage	9
Climatique	* Empreinte carbone	* Analyse d'empreinte carbone * ACV	tCO <sub>2</sub> e/an; tCO <sub>2</sub> e/m <sup>2</sup> ; ppm	Globale	Cet indicateur de performance environnementale est bien connu, il mesure l'impact des activités humaines sur le climat mondial, exprimé en émissions de gaz à effet de serre (GES) générées par un système.	Méthode très populaire / standardisée (GPC, PAS 2050, Bilan Carbone, ISO14067...) Permet une bonne communication des impacts Peut être utilisé par différents acteurs (indicateur d'impact le plus utilisé / parlant à ce jour)	Néglige les autres catégories d'impact (biodiversité, utilisation d'eau, déforestation des ressources...)	9, 17
Flux matériels	* Empreinte matérielle	* Analyse des Flux de Matière (MFA) * Analyse des Flux de Substance * Tables d'entrée-sortie * Analyse de flux de matière de l'économie totale (Economy-Wide MFA)	tonnes/pers/an; tonnes/an	Globale / Locale	Mesure l'utilisation des matériaux dans une perspective de consommation, en attribuant toutes les matières premières extraites et utilisées à l'échelle mondiale à la demande finale nationale. Elle englobe quatre catégories de matériaux : les minerais métalliques, les minerais non métalliques, les combustibles fossiles et la biomasse (cultures, résidus de cultures, bois, captures de poissons sauvages, etc.)	Beaucoup utilisée dans le développement de politiques internationales d'efficacité matérielle (ex : EU Resources Efficiency Initiative). Cet indicateur possède une méthode standardisée (Eurostat) et est particulièrement intéressante pour une approche d'économie circulaire et sauvegarde des matériaux Se compare à des limites planétaires pour des ressources naturelles globales, biotiques et abiotiques. L'empreinte matérielle est la seule incluse comme indicateur officiel des SDGs (Indicateurs B.4.1, 12.2.1 et 12.2.2)	Ne prend pas en compte l'impact des matériaux en tant que tels (qualitativement), seulement quantitativement	9, 18, 19

Indice de circularité	Définitions	Types de données nécessaires	Niveaux d'application	Spécificités / Phases de vie considérées	Méthodologies	Limites	Références
<b>Madaster - Indicateur de circularité (MIC)</b> <b>Circularity Indicator (CI)</b> <b>Madaster</b>	L'indicateur de circularité Madaster (MIC) est conçu pour attribuer des scores de circularité (allant de 0 à 100 %) aux bâtiments. Le MIC est basé sur les données enregistrées par l'utilisateur dans la base de données Madaster. Le MIC mesure le niveau de circularité des bâtiments au cours de 3 phases différentes: <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Phase de construction</b> : Quel est le rapport entre le volume de matériaux "vierges" et le volume de matériaux "recyclés, réutilisés ou renouvelables" ?</li> <li><b>Phase d'utilisation</b> : Quel est le cycle de vie fonctionnel attendu des produits utilisés, par rapport au cycle de vie fonctionnel moyen de produits similaires ?</li> <li><b>Fin de vie</b> : Quel est le rapport entre le volume de "déchets", et le volume de matériaux et produits "réutilisables et/ou recyclables" dérivés d'un bâtiment lors de sa remise en état ou de sa démolition ?</li> </ul>	Données sur la plateforme Madaster (registre en ligne, fournissant la base de données, le logiciel) et les outils nécessaires aux utilisateurs privés, industriels et gouvernementaux pour générer, stocker et gérer des passeports de matériaux individuels et des portefeuilles de bâtiments	Bâtiments	Construction / Rénovation / Fin de vie	Utilisation d'un document Excel à cet effet, et la plateforme calcule automatiquement le MIC. Cette dernière suit la méthodologie suivante : 1. Calcul du MIC de la phase de construction = Fraction des matériaux recyclés + rapidement renouvelables + réutilisés employés pour la phase de construction (N) 2. Calcul du MIC de la phase d'opération = Potentiel de vie fonctionnelle d'un produit / vie moyenne de la couche de bâtiment à laquelle il appartient (6 couches de Brand) 3. Calcul du MIC de fin de vie = Fraction de matériaux qui peuvent être recyclés * efficacité du processus de recyclage + fraction de matériaux qui peuvent être réutilisés Finalement le MIC du bâtiment est calculé comme pour le ICM de la fondation d'Ellen MacArthur: MIC = 1 - IFL * FX	* L'énergie intrinsèque des matériaux et produits, ainsi que l'énergie et l'eau consommées le long du cycle de vie du bâtiment sont pour le moment non compris dans le MIC. * Le terme de recyclage doit être amélioré (en prenant en compte le downcycling, si le matériau est réutilisé, brûlé...) et renseigné par des parties prenantes pour que l'indicateur reflète au mieux les procédés actuels	[18]
<b>Indicateur de circularité matérielle (ICM)</b> <b>Material Circularity Indicator (MCI)</b>	Le ICM a été développé par la Ellen MacArthur Foundation et mesure le caractère réparateur et régénérateur des flux de matériaux d'un produit ou d'une entreprise. Il s'accompagne d'indicateurs complémentaires qui permettent de prendre en compte des impacts et des risques supplémentaires. L'un des indicateurs les plus utilisés/reconnus pour évaluer la circularité à ce jour. Renseigne sur : * Utilisation de matières premières provenant de sources réutilisées ou recyclées * Réutilisation des composants ou recyclage des matériaux après l'utilisation du produit. * Maintien des produits en service plus longtemps (par exemple, par la réutilisation/redistribution) * Utilisation plus intensive des produits (par exemple, via des modèles de service ou de performance).	* Taux de matière vierge * Taux de recyclage des matériaux * Taux d'efficacité du processus de recyclage * Taux de matériaux biotiques	Produits	Conception S'applique à n'importe quel produit	1. Évaluation des matériaux vierges utilisés 2. Évaluation de la quantité de déchets non valorisables 3. Calcul de l'indice de flux linéaire (IFL) = le flux qui part directement de l'extraction de matière vierge vers les déchets non valorisables 4. Calcul de l'utilité des matériaux (U) : soit en fonction de leur durée de vie et de leur intensité d'utilisation (FX) = une fonction déterminant l'influence que l'utilité d'un produit a sur son ICM 5. Finalement, l'ICM d'un produit est calculé tel que ICM = 1 - IFL * FX	* L'indicateur ne favorise pas explicitement les boucles fermées. * Il est supposé que les matériaux récupérés à la fin de leur utilisation peuvent être traités pour obtenir une qualité similaire à celle des matériaux vierges d'origine. * On suppose qu'il n'y a pas de pertes de matériaux lors de la préparation des produits collectés en vue de leur réutilisation. * Il est supposé que la masse du produit ne change pas de la fabrication à la fin de l'utilisation. En particulier, cela signifie qu'aucune partie du produit n'est "consommée" (par exemple, mangée ou brûlée) pendant son utilisation, mangée ou brûlée) pendant son utilisation.	[1, 7, 8, 5, 12]
<b>Méthode 3DR</b>	La méthode intègre les caractéristiques des matériaux de construction, telles que le poids et la résilience structurelle, aux pratiques de fin de vie et à la gestion des déchets. Cet indice pour l'environnement bâti peut être utilisé à toutes les étapes du cycle de vie d'un bâtiment et transformé potentiellement l'indicateur de la construction en réduisant considérablement son impact sur l'environnement.	* Taux de recyclabilité (nombre de fois) * Besoin en machine pour déconstruction * Besoin en machine pour déplacement à un autre site	Bâtiments	Construction / Rénovation / Fin de vie	* Analyse des connexions et des composants qui peuvent être déconnectés du bâtiment * Définition du périmètre pour préciser si le bâtiment sera désassemblé et si ses composants seront réutilisés, recyclés ou mis en décharge. * Calculer l'indice de désassemblage (DI), l'indice de déconstruction (DE), la résilience (R) pour calculer l'indice 3DR * Interprétation des résultats et amélioration du bâtiment	* Ne comprend pas une analyse ACV * Ne prend pas en compte la qualité des matériaux de construction * Évaluation empirique restreinte aux deux cas d'études exposés dans l'article	[2]
<b>Indicateurs et thèmes de circularité pour l'évaluation du cycle de vie des projets</b> <b>Project life-cycle assessment-circularity indicators and themes (PLACIT)</b>	PLACIT comprend cinq thèmes de circularité (TC) correspondant aux principales étapes du cycle de vie d'un projet de construction : * Design pour faciliter l'IEC * Réduction des impacts de construction * Utilisation et maintenance durables * Maintien des matériaux * Plans de développement, éducation et gestion des données d'IEC Cette méthodologie vise à faciliter l'évaluation de la circularité des projets, entreprises et pratiques de construction en mesurant leur engagement au travers de 12 différents indicateurs de circularité (IC).	* Sur le potentiel circulaire du design (logevité, possibilité de désassemblage...) * Utilisation de matériaux à faible impact (Fiches techniques, matériaux biosourcés...) * Part de matériaux recyclés dans le design * Réduction des matériaux intrants (efficacité de construction, partage d'équipement...) * Méthodes innovantes de construction (off-site construction, impression 3D) * Durabilité du bâtiment/projet (efficacité d'utilisation, réparation, maintenance...) * Réduction des impacts environnementaux (CO2e, énergie, production de déchets) * Gestion des déchets CRD (matériaux, équipements, stratégie...) * Intégration de la hiérarchie 3Rv dans la gestion des déchets. * Nouveaux plan d'affaire et stratégie * Planification, collaboration et gestion des données d'IEC * Éducation, entraînement et sensibilisation à l'IEC des parties prenantes	Bâtiment / Projets / Entreprises / Pratiques	Conception, Construction / Rénovation / Fin de vie	L'outil PLACIT permet de noter 5 différents stages de circularité dans les projets de construction, selon 12 IC, afin de promouvoir la prise de décision	* Le cadre conceptuel PLACIT n'a pas été validé au travers d'études empiriques des praticiens de l'industrie. * Aucune preuve de son potentiel à soutenir la prise de décision dans des projets réels n'a été prouvée, et les obstacles à la transition complète vers l'IEC ne sont pas inclus. * Une étude plus approfondie serait nécessaire pour adapter PLACIT à d'autres secteurs de construction ou autres industries. * La façon dont la gradation doit être effectuée entre les différents indicateurs semble être laissée aux utilisateurs (qualitatif) * Ce cadre d'évaluation est sur la circularité avant tout et découpe alors l'IEC de la durabilité en tant que tel (tout n'est pas mesuré en termes d'impact)	[3]
<b>Indice de circularité des ponts (ICP)</b> <b>Bridge Circularity Indicator (BCI)</b>	Ce cadre vise à déterminer l'efficacité d'utilisation des ressources dans la construction de ponts et combine quatre indicateurs basés sur les principes de l'économie circulaire, circulaire. Ces quatre indicateurs sont : * Contribution à la conception * Disponibilité des ressources * Adaptabilité * Réutilisation. Chaque indicateur est ensuite décomposé en plusieurs sous-indicateurs. Pour établir son utilité, le cadre d'évaluation a été appliqué à 2 cas d'étude. En outre, des analyses d'incertitude et de sensibilité ont été réalisées afin de déterminer la robustesse du cadre face aux changements des paramètres de conception et de la méthode de pondération utilisée	* Consommation matérielle * Flux de matériaux vierges * Sécurité structurelle du design * Sécurité minimale réglementaire pour la structure * Potentiel de désassemblage * Facilité de transport Par chaque type de matériaux : * Taux de recyclabilité * Durée de vie * Intensité d'utilisation * Indice de rareté des ressources * Indicateur de potentiel de minéral excédentaire (SOP)	Ponts	Construction / conception	Ce cadre vise à évaluer l'impact de la construction des ponts sur l'épuisement de matériaux. Pour ce faire, la masse des matériaux est utilisée et couplée à un indice de rareté. Les indicateurs suivants sont calculés : * Contribution à la conception * Disponibilité des ressources * Adaptabilité * Réutilisation. Des pondérations sont alors données aux 4 indicateurs, en fonction du type d'infrastructure, de leur durée de vie et de la dynamique de la région	* L'ICP n'inclut que l'épuisement des ressources sur la durée de vie des ponts, il n'inclut pas la consommation d'énergie, les émissions de gaz à effet de serre et d'autres catégories d'impact environnemental. Ces derniers devraient être ajoutés comme autres indicateurs de performance environnementale. * Difficile de donner un indicateur de désassemblage qui corresponde à ce qui se passera en réalité (difficile de prouver que cela sera techniquement possible après plusieurs décennies). * Les recherches ont été basées sur la littérature scientifique et l'avis d'experts de l'agence néerlandaise des infrastructures, ce qui crée inévitablement un biais dans l'approche adoptée pour la circularité. Une validation internationale serait alors nécessaire pour aligner le cadre avec la conceptualisation globale de l'IEC.	[4]
<b>Indicateur de circularité dans le bâtiment (ICB)</b> <b>Building Circularity Indicator (BCI)</b>	Cet indicateur vise à proposer une méthodologie d'évaluation de la circularité holistique qui couvre les aspects macro (matériaux), meso (chaîne d'approvisionnement) et micro (sur le design) pour les bâtiments. Cet indicateur se base sur le ICM en l'appliquant au domaine de la construction L'indicateur prend en compte : - L'énergie intrinsèque - Les GES intrinsèques - Les critères de design pour désassemblage Cottafava et Ritzen en font une version simplifiée, et une complète pour favoriser son utilisation plus vaste. La version simplifiée peut être utilisée lorsque les BoM ne sont pas accessibles pour un bâtiment. Permet de considérer les impacts environnementaux au niveau macro (énergie et GES intrinsèques en plus de la masse de matériaux utilisés) et au niveau micro selon le potentiel de désassemblage	* Taux de matière vierge * Taux de recyclage des matériaux * Taux de matériaux non valorisables * Masse de chacun des composants par couche * Durée de vie des produits * Intensité d'utilisation des produits * Énergie intrinsèque par matériaux (BoM) * Émissions intrinsèques par matériaux (BoM)	Bâtiments	Construction, matériaux, chaîne d'approvisionnement, design	1. Un score de ICM est calculé pour chaque élément des bâtiments = <b>ICMp</b> 2. Les différents ICM sont ensuite multipliés par le facteur de désassemblage des différents composants, donnant alors l'indicateur de circularité du produit (ICP) ( <b>ICP</b> ) = <b>ICMp * FI</b> FI = Facteur de désassemblage à déterminer (produits chimiques, connexions avec d'autres matériaux...), d'une valeur comprise entre 0 et 1 (1 étant pour le meilleur potentiel de réutilisation/revitalisation) 3. L'indicateur de circularité du système (ICS) est ensuite calculé en pondérant les différents ICP en fonction de la masse de chaque produits (IC) = <b>IPCP * masse</b> 4. Le BCI est ensuite obtenu en multipliant chaque ICS par leur niveau d'importance <b>LK</b> <b>BCI = SC * LK</b> LK = Niveau d'importance basé sur les 6 couches de bâtiments de Brand (voir [5]). Facteur de pondération entre 0 et 1.	Le processus de collecte de données pour le bill of material (BoM) nécessite des directives détaillées pour les praticiens, afin d'éviter les biais d'interprétation et favoriser le potentiel de comparaison entre différents bâtiments. Il est important que l'outil précise s'il évalue un produit en tant que composant unique, ou un assemblage de sous-produits séparés. Des spécifications sur la précision des données de Design for Disassembly (DfD) sont essentielles : si trop précises, elle demandent beaucoup de temps pour un audit et créent des difficultés pour les experts qui ont moins de connaissances sur le design. Mais des critères trop larges donneraient des résultats moins pertinents dont l'incertitude serait trop large. Ainsi des exemples concrets pour les praticiens qui mènent les audits doivent être donnés, afin d'éviter les erreurs de compréhension pendant l'évaluation du design. Pas de méthode standardisée pour le BCI à ce jour. Pas de standard non plus pour la notion de désassemblage, notamment en raison d'un trop grand nombre d'outils et méthodologies. Besoin d'accès aux BoM des matériaux pour pouvoir évaluer l'énergie et le carbone intrinsèque du bâtiment (version simplifiée ne les comprend pas).	[5]
<b>Indicateur de symbiose industrielle</b> <b>Industrial Symbiosis Indicator (ISI)</b>	Cet indicateur vise à évaluer la performance de circularité pour les réseaux de symbiose industrielle (soit la valorisation de produits sous-utilisés d'une compagnie par une autre). Il se base sur une combinaison dynamique d'analyse de flux de matières et une approche ACV. En évaluant les impacts environnementaux et la quantité de matériaux réutilisés, l'indicateur permet de connaître la performance d'un parc industriel et l'ajout de potentiel organisation en son sein.	* Quantité de matériaux échangés dans le parc (Inbound by-products) * Quantité de matériaux qui quittent le parc (outbound by-product) Des données pour les catégories spécifiques suivantes : * La législation qui les concerne (recyclage / réutilisation...) * Leur classe * Leur utilisation dans le parc * Leur destination * Les problèmes et risques qui s'y rattachent	Ensemble d'infrastructures, bâtiments, park entreprises	Développement de symbiose industrielle	Le ISI (compris entre 0 et 100% pour une circularité maximale) comprend : * Les quantités de matériaux échangés dans le parc * Les quantités de matériaux quittant le parc * Les types de matériaux sont ensuite pondérés pour prendre en compte les contextes légaux et sociaux économiques qui s'y rapportent : * Les scores de 1, 3 ou 5 sont accordés à chacune des 5 catégories spécifiques mentionnées dans l'Annexe de données nécessaires; qui ont chacune une pondération (dans une optique d'aide à la décision).	La compréhension et la comparabilité de l'indicateur pourraient être améliorées en ajoutant un indicateur environnemental, tel que l'éco-efficacité du réseau évier.	[14, 15]
<b>Métrique de circularité au niveau du produit</b> <b>Product Level Circularity Metric</b>	La métrique de circularité au niveau produit est basée sur la valeur économique totale de la part du produit qui est valorisée divisée par la valeur économique des toutes les parts du produit L'outil sert de guide aux planificateurs et aux constructeurs en tenant compte des critères de l'économie circulaire et contribue à la planification orientée vers l'avenir de bâtiments circulaires. Il fournit simplement un support pour l'évaluation des matériaux de construction, des composants et constructions selon les principes de la CE. Il se base sur 3 niveaux (matériaux, composant et assemblage). L'outil se base sur 6 grands critères : matières premières renouvelables, absence de polluants, l'origine locale, la circularité, la connexion des composants du système et le démontage.	* Valeur économique des différentes parties du produit à différents stades de revalorisation * Valeur économique combinée * Les coûts de recirculation Données sur les matériaux : * quantité de matières premières renouvelables * absence de polluants * origine * degré de circularité Données sur la construction : * types de connexions des composants du système * degré de démontage	Produits / Matériaux	Conception	Il s'agit d'un processus itératif qui calcule la circularité en fonction des valeurs économiques des matériaux vierges utilisés dans un produit, de celles des matériaux réutilisés et de celle du produit global (voir Références)	Utiliser les prix empêche de prendre en compte les coûts et bénéfices externalisés, ne fonctionne pas avec les produits pour lesquels des marchés de seconde main n'existent pas, et cette méthode ne marche pas avec les produits de faible valeur marchande.	[13]
<b>Indice de circularité de l'économie (ICE)</b> <b>Circular Economy Index (CEI)</b>	L'ICE considère ainsi 6 critères (notés chacun sur 5) pour 3 niveaux (matériaux, composant et assemblage) et donne une note allant de 0 à 100% pour la conception globale. L'ICE se base donc sur une matrice qui note les différents matériaux (dont la masse globale dans le bâtiment est prise en compte), avec chaque critère ayant le même poids.		Matériaux, composants, assemblages	Conception	L'ICE considère ainsi 6 critères (notés chacun sur 5) pour 3 niveaux (matériaux, composant et assemblage) et donne une note allant de 0 à 100% pour la conception globale. L'ICE se base donc sur une matrice qui note les différents matériaux (dont la masse globale dans le bâtiment est prise en compte), avec chaque critère ayant le même poids.	Des facteurs tels que l'énergie intrinsèque ou encore des paramètres d'impacts environnementaux devraient être ajoutés.	[16]

Références pour indices de circularité	Auteurs	Années	Titres
1	Heisel, F., & Rau-Oberh	2020	<i>Calculation and evaluation of circularity indicators for the built environment using the case studies of UMAR and Madaster</i>
2	O'Grady, T., Minunno, F	2021	<i>Design for disassembly, deconstruction and resilience: A circular economy index for the built environment</i>
3	Abadi, M., Moore, D. R.,	2021	<i>A framework of indicators to measure project circularity in construction circular economy</i>
4	Coenen, T. B. J., Santos	2021	<i>Development of a bridge circularity assessment framework to promote resource efficiency in infrastructure projects</i>
5	Cottafava, D., & Ritzen,	2021	<i>Circularity indicator for residential buildings: Addressing the gap between embodied impacts and design aspects</i>
6	Rahla, K. M., Bragança,	2019	<i>Obstacles and barriers for measuring building's circularity</i>
7	Ellen MacArthur Foun	2019	<i>Circularity Indicators—An approach to Measuring Circularity—Methodology</i>
8	Madaster	2021	<i>Madaster Circularity Indicator Explained v1.0</i>
9	Elia, V., Gnoni, M. G., &	2017	<i>Measuring circular economy strategies through index methods: A critical analysis</i>
10	Saidani, M., Yannou, B.	2019	<i>A taxonomy of circular economy indicators. Journal of Cleaner Production</i>
11	Zhang, C., Hu, M., Di M	2022	<i>An overview of the waste hierarchy framework for analyzing the circularity in construction and demolition waste management in Europe.</i>
12	Dräger, P., Letmathe, P	2022	<i>Measuring circularity: Evaluation of the circularity of construction products using the ÖKOBAUDAT database.</i>
13	Linder, M., Sarasini, S., &	2017	<i>A Metric for Quantifying Product-Level Circularity</i>
14	Marinelli, S., Butturi, M	2021	<i>Estimating the Circularity Performance of an Emerging Industrial Symbiosis Network: The Case of Recycled Plastic Fibers in Reinforced Concrete</i>
15	Felicio, M., Amaral, D., F	2016	<i>Industrial symbiosis indicators to manage eco-industrial parks as dynamic systems</i>
16	Anouk, G., & Heide G., S	2018	<i>Study of a Circular Economy Approach in Architecture – Development of an Index for the Construction Industry.</i>
Références connexes	Auteurs	Années	Titres
17	Vanham, D., Leip, A., G	2019	<i>Environmental footprint family to address local to planetary sustainability and deliver on the SDGs.</i>
18	Bringezu, S.	2015	<i>Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources.</i>
19	Lin, J., Cheng, S., Li, H.,	2020	<i>Environmental Footprints of High-Speed Railway Construction in China: A Case Study of the Beijing–Tianjin Line</i>
20	Hirsch, R. M., Moyer, D.	2010	<i>Weighted Regressions on Time, Discharge, and Season (WRTDS), with an Application to Chesapeake Bay River Inputs</i>
21	Rakhshan, K., Morel, J.-	2020	<i>Components reuse in the building sector – A systematic review.</i>