

# Rapport

## Application de la circularité dans l'analyse du cycle de vie des bâtiments

Avril 2024

ARUP

GR O U P E  
AGÉCO

STUDIO  
CARBONE



**CERIEC**  
Centre d'études  
et de recherches  
intersectorielles  
en économie  
circulaire



Le lab construction est un projet du Centre d'études et de recherches intersectorielles en économie circulaire de l'ÉTS (CERIEC).

## Rédigé par



**Leopold Wambersie**  
ÉTS

## Sous la direction de



**Li-Anne Sayegh**  
Arup



**Claudiane Ouellet-Plamondon**  
ÉTS

## Avec la collaboration de



**Georgette Harun**  
Arup



**Sarah Guermonprez**  
Groupe AGÉCO



**Amandine Cadro**  
Studio Carbone

## Remerciements

Nous tenons à remercier les personnes suivantes pour leurs contributions au projet et à l'examen technique dont il a fait l'objet :

Lauren Wingo, Arup	Mathieu Bendouma, ÉTS	Marika Frenette, Studio Carbone
Frances Yang, Arup	Julien Beaulieu, Groupe AGÉCO	Jeremy Rio, Studio Carbone
Hortense Montoux, CERIEC	Julie-Anne Chayer, Groupe AGÉCO	
Alice Rabisse, CERIEC	Bastien Roure, Groupe AGÉCO	

Nous tenons également à remercier l'équipe de cocréation pour son soutien tout au long du projet.

Mise en page du rapport : Loulwa Elali, Arup.

Traduction : Lisa Cecchini

## À propos du CERIEC-ÉTS

Mis sur pied en septembre 2020, le CERIEC a pour mission de contribuer au façonnement et au déploiement de l'économie circulaire par un programme de recherche scientifique interdisciplinaire de pointe et par des initiatives de formation, dialogue, valorisation et transfert destinées à maximiser les retombées pour les acteurs économiques, les gouvernements et la société.

Le CERIEC compte devenir la référence incontournable en matière de connaissances, de compétences et de création de valeur autour de l'économie circulaire au Québec. Installé à l'ÉTS, il offre un lieu d'expérimentation unique aux chercheurs et aux étudiants en génie, notamment en matière d'innovations destinées à faciliter la transition vers un futur durable.

## À propos du lab construction du CERIEC

Le laboratoire d'accélération en économie circulaire dans le secteur de la construction (lab construction) vise à démontrer comment intégrer et généraliser des stratégies d'économie circulaire dans le secteur de la construction à travers des projets d'expérimentation innovants cocréés avec les parties prenantes.

Le laboratoire d'accélération s'inspire du concept et des pratiques des *living labs*, qui s'appliquent aux projets qui nécessitent l'implication des utilisateurs, l'expérimentation dans des contextes réels et la collaboration de plusieurs intervenants. La méthode collaborative du lab permet de rapidement mettre en œuvre des innovations, de les tester et de faciliter l'appropriation de nouvelles pratiques.

## À propos de ce rapport

Ce rapport est le résultat du projet en cocréation *Application de la circularité dans l'analyse du cycle de vie des bâtiments* mené par Arup et l'ÉTS en collaboration avec le Groupe AGÉCO et le Studio Carbone. Il s'agit de l'un des nombreux projets du premier *living lab* sur l'économie circulaire dans le secteur de la construction mené par le CERIEC. L'initiative du lab vise à trouver des solutions aux défis identifiés dans le but de mettre en œuvre l'économie circulaire dans l'industrie de la construction au Québec.

# Table des matières

<b>Lexique</b>	<b>4</b>		
<b>Les normes et les lignes directrices</b>	<b>5</b>		
<b>Introduction</b>	<b>6</b>		
<b>Objectif</b>	<b>6</b>		
<b>Contexte</b>	<b>6</b>		
<b>Structure</b>	<b>6</b>		
<b>Section A - Aperçu des stratégies circulaires et de l'ACV de l'ensemble du bâtiment</b>	<b>7</b>		
<b>Stratégies circulaires</b>	<b>8</b>		
<b>Défis liés à l'introduction de stratégies circulaires dans les ACV de l'ensemble de bâtiment traditionnelles</b>	<b>9</b>		
<b>Module D : au service de la circularité</b>	<b>9</b>		
<b>Définition d'un bâtiment de référence pour l'ACV de l'ensemble du bâtiment</b>	<b>10</b>		
<b>Considérations pour une analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment</b>	<b>11</b>		
Objectif de l'ACV de l'ensemble du bâtiment	11		
Durée de vie du projet	11		
Limites du système	11		
Bâtiment de référence	11		
<b>Aperçu de la modélisation des stratégies circulaires dans une ACV de l'ensemble du bâtiment</b>	<b>12</b>		
<b>Section B - Compte-rendu détaillé des stratégies circulaires et l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment</b>	<b>13</b>		
<b>B1. Stratégies qui visent à partager les matériaux entre les systèmes</b>	<b>14</b>		
La méthode d'allocation 100/0	14		
Autres méthodes d'allocation	15		
		Définition de la limite entre les systèmes	15
		B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés	16
		B1.2 Conception pour la déconstruction	18
		B1.3 Rénovation de bâtiments existants	21
		<b>B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments</b>	<b>24</b>
		B2.1 Conception pour la longévité	25
		B2.2 Conception pour l'intensification des usages	27
		<b>B3. Stratégies de réduction des impacts des matériaux</b>	<b>29</b>
		B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux	30
		B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique	32
		<b>Prochaines étapes</b>	<b>34</b>
		<b>Annexe</b>	<b>35</b>
		<b>Approches pour le carbone biogénique</b>	<b>36</b>
		<b>Références</b>	<b>38</b>

# Lexique

## Analyse du cycle de vie (ACV)

Méthode d'évaluation des impacts environnementaux associés à un produit, à un processus ou à un service. Ces impacts peuvent être calculés pour toutes les étapes du cycle de vie (A, B, C) jusqu'à l'élimination ou le recyclage. De façon générale, une ACV d'un produit complexe se calcule en combinant les résultats des ACV des composants individuels.

## Analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment

Évaluation des impacts environnementaux de l'ensemble d'un bâtiment tout au long des étapes de son cycle de vie incluant les émissions intrinsèques et opérationnelles.

## Avantage

Dans le contexte d'une analyse du cycle de vie, un avantage est la réduction de l'impact engendrée par une stratégie de conception ou de construction par rapport à un système de référence dans lequel la stratégie n'a pas été mise en œuvre.

## Bâtiment/système/scénario de référence

Bâtiment auquel sont comparés les impacts environnementaux d'un bâtiment proposé. Le bâtiment de référence représente généralement un scénario tendanciel et peut être basé sur des bâtiments existants, des archétypes de bâtiments ou une étape de conception antérieure du même bâtiment.

## Carbone biogénique

Tout le carbone qui est séquestré pendant la croissance des arbres, des plantes et de la biomasse. Les émissions de carbone biogénique représentent le dioxyde de carbone ou le méthane émis lors de la combustion ou de la décomposition de matériaux contenant du carbone biogénique.

## Circularité

Circularité et économie circulaire sont des termes généralement utilisés pour définir l'atteinte de la durabilité par la réutilisation et l'efficacité des matériaux.

## Conception pour l'adaptabilité

Concevoir des bâtiments pour qu'ils puissent être modifiés en fonction de l'évolution des besoins et des situations et donc avoir une plus longue durée de vie.

## Conception pour la déconstruction

Conception pour la déconstruction, ou conception pour le désassemblage, fait référence aux décisions à l'étape de la conception qui encourageront la facilité du démontage d'un bâtiment sur le plan économique et dans l'objectif de favoriser la récupération et la réutilisation de ses composants.

## Déclaration environnementale de produit (DEP)

Document normalisé qui communique les impacts du cycle de vie d'un produit, d'un processus ou d'un service calculé à l'aide des règles de catégorie de produits qui s'y rapportent. Les DEP sont une déclaration environnementale de type III selon la norme ISO 14025 et sont définies à l'aide d'outils d'analyse du cycle de vie.

## Durée de vie/durée de vie utile

Période pendant laquelle un bâtiment ou un composant est en service avant sa fin de vie utile ou son remplacement. La durée de vie d'un bâtiment dépend de facteurs tels que l'entretien, les matériaux utilisés, les conditions météorologiques et climatiques, les décisions de conception, etc.

## Équivalence fonctionnelle

Propriété de deux bâtiments, généralement un bâtiment de projet et un bâtiment de référence qui répondent aux mêmes exigences fonctionnelles et/ou techniques. Ces exigences peuvent inclure la durée de vie, les normes de performance et les modes d'utilisation. Une définition plus détaillée de l'équivalence fonctionnelle est disponible dans le guide de l'ASCE (définition de la structure et des stratégies du bâtiment de référence dans l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment).

## État de fin de déchet

Condition limite à la fin d'un système de bâtiment définie par la norme EN 15978. Lorsque les matériaux atteignent cet état à la fin des processus constituant l'étape C du cycle de vie, ils quittent le système. De plus, tout impact environnemental supplémentaire associé aux matériaux n'est pas attribué au système de bâtiment d'origine. Les matériaux peuvent quitter le système de plusieurs façons : en tant que déchets, en tant qu'intrants dans un processus de récupération d'énergie ou en tant qu'intrants dans des processus de recyclage pour lesquels les impacts sont attribués à un nouveau système de bâtiment.

## Fardeau

Dans ce rapport, le fardeau est l'impact du cycle de vie.

## Fin de vie

Dernière étape du cycle de vie d'un bâtiment ou d'un composant, équivalente à l'étape C du cycle de vie. Elle comprend toutes les activités qui ont lieu entre le début de la démolition ou de la déconstruction et l'état final des déchets pour tous les matériaux. À ne pas confondre avec la formule de fin de vie des lignes directrices du *Product Environmental Footprint* (PEF).

## Impact du cycle de vie

Tout type d'impact environnemental qui se produit pendant l'ensemble du cycle de vie (c'est-à-dire de l'extraction des matériaux à la fin de vie) qui peut être quantifié en fonction d'indicateurs de catégorie d'impact. Les impacts sont souvent définis par un processus de caractérisation qui convertit les flux environnementaux individuels entrants (utilisation d'eau douce, épuisement des ressources) ou sortants (émissions de GES) d'un inventaire du cycle de vie en une unité de comparaison commune de point médian ou final.

## Inventaire du cycle de vie (ICV)

L'inventaire contient des données utilisées comme intrants pour une analyse du cycle de vie qui quantifie les flux de matières, les flux d'énergie et les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un processus.

## Matériaux secondaires

Tous les matériaux et les produits qui ont déjà rempli l'usage auquel ils étaient destinés. Ils comprennent les matériaux recyclés et les matériaux destinés à être recyclés.

## Potentiel de réchauffement planétaire (PRP)

Mesure relative qui permet de comparer les impacts de différents gaz à effet de serre en tenant compte de leur capacité à absorber l'énergie et de leur durée de vie. Le PRP est estimé en fonction du dioxyde de carbone (CO₂) qui a un PRP de 1. Les autres gaz ont un multiplicateur qui représente leur impact relatif sur le réchauffement planétaire par kilogramme sur une période donnée (généralement 100 ans).

## Stockage du carbone

Stockage temporaire ou permanent du carbone après séquestration.

## Stratégies circulaires

Dans ce rapport, les stratégies circulaires représentent toutes les approches potentielles dans la conception et la construction d'un bâtiment qui améliorent la durabilité (et la circularité) des matériaux en réduisant la demande pour des matériaux primaires ou en déplaçant la demande vers des matériaux primaires ayant moins d'impacts.

## Taux de récupération (TR)

Proportion d'un matériau ou d'un groupe de matériaux qui est récupérée pour être réutilisée en fin de vie utile.

## Unité fonctionnelle

Selon la norme ISO 14040/44 l'unité fonctionnelle est la performance quantifiée d'un système de produits utilisé comme unité de référence. Il s'agit d'une unité de normalisation pour comparer des émissions et des impacts environnementaux entre plusieurs projets et/ou systèmes de référence. Dans une analyse du cycle de vie de l'ensemble d'un bâtiment, l'unité fonctionnelle peut être la totalité des impacts du bâtiment lui-même ou un sous-ensemble de celui-ci (p. ex. : les impacts par mètre carré de surface brute de plancher ou l'impact par unité résidentielle).

# Les normes et les lignes directrices

Le tableau suivant résume les normes et les lignes directrices abordées dans ce rapport. Elles régissent les principes directeurs et les exigences des analyses du cycle de vie (ACV) conventionnelles et des analyses du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment.

Tableau 1. Récapitulatif des normes et des lignes directrices de l'ACV et de l'ACV de l'ensemble du bâtiment

Code: date	Titre	Sujet	Description
Normes et lignes directrices pour les ACV dans le secteur de la construction			
2022	Lignes directrices nationales en matière d'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment (dans ce rapport : <i>lignes directrices nationales</i> )	Principes généraux pour l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment	Les lignes directrices fournissent des instructions visant à harmoniser la pratique de l'ACV des bâtiments canadiens. Elles sont fondées sur des normes en la matière et leurs intentions. Elles font principalement référence aux normes EN 5978 et ISO 21930, mais aussi aux normes ISO 14044 et ISO 21678.
EN 15978 : 2011	Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Évaluation de la performance environnementale des bâtiments – Méthode de calcul	Règles et méthodes d'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment	Cette norme décrit la méthode d'évaluation de la performance environnementale d'un bâtiment. Les impacts des produits sont régis par la norme EN 15804. Les lignes directrices canadiennes s'appuient principalement sur cette norme. Bien qu'il s'agisse d'une norme européenne, elle constitue de plus en plus la référence en analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment avec EN 15804.
EN 15804 : 2012 + A2 : 2019	Contribution des ouvrages de construction au développement durable – Déclarations environnementales sur les produits – Règles régissant les catégories de produits des produits de construction	Règles pour les DEP des produits de construction	Elle présente la méthodologie pour produire des DEP harmonisées pour les produits de construction (informe EN 15978 en ce qui touche les bâtiments). La mise à jour de 2019 n'est plus conforme à ISO 21930 puisque celle-ci couvre le carbone biogénique et exige la déclaration d'un scénario de fin de vie utile et l'évaluation du module D.
ISO 21930 : 2017	Développement durable dans les bâtiments et les ouvrages de génie civil – Règles principales pour les déclarations environnementales des produits de construction et des services	Règles qui s'appliquent à la fois à l'analyse du cycle de vie et à l'analyse du cycle de vie des produits de construction	Cette norme ISO combine des lignes directrices pour les produits (DEP) et les bâtiments. La mise à jour de 2017 adopte et développe de nombreux éléments de la norme EN 15804, mais n'est pas conforme à sa mise à jour de 2019. Elle contient des lignes directrices pour le carbone biogénique et la carbonatation du béton qui ne figurent pas dans la norme EN 15978 (mais qui ont été incluses dans la mise à jour de la norme EN 15804). Elle complète la norme ISO 14025 qui régit les DEP de manière plus générale. Ce document est utilisé plus couramment en dehors de l'Europe.
2017	<i>Whole Building Life Cycle Assessment: Reference Building Structure and Strategies</i> publié par l'American Society of Civil Engineers (dans ce rapport : guide ASCE)	Structure de référence qui définit l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment	Élaboré par l'American Society of Civil Engineers, ce guide sert à élaborer d'une structure de référence afin de comparer la performance de l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment d'un projet. Il présente des stratégies de réduction des impacts du cycle de vie des projets et des considérations pour définir une structure de référence.

Code: date	Titre	Sujet	Description
Normes et lignes directrices pour les ACV dans le secteur de la construction			
ISO 14040: 2006	Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre	Méthodologie générale de l'ACV	Cette norme présente les principes généraux et le cadre d'une ACV.
ISO 14044: 2006	Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices	Méthodologie générale de l'ACV	Cette norme est complémentaire à ISO 14044 et définit des exigences et des lignes directrices spécifiques.
PEF 2018	<i>Product Environmental Footprint Category – Rules Guidance</i>	Règles pour les empreintes écologiques de produits	Les empreintes écologiques (ou environnementales) de produits constituent une solution de rechange aux DEP et portent sur de nombreuses catégories de produits sans se limiter à la construction.
Normes sur la comptabilisation du carbone			
ISO 14067: 2018	Gaz à effet de serre – Empreinte carbone des produits – Exigences et lignes directrices pour la quantification	ACV – GES	Ce document uniformise les processus de quantification et de comptabilisation du carbone intrinsèque. Il établit que les émissions biogéniques et non biogéniques devraient être séparées.
PAS 2050:2011	Spécification pour l'analyse du cycle de vie des émissions de gaz à effet de serre des biens et services	Principes de comptabilisation des GES	Il s'agit de lignes directrices générales pour comptabiliser les émissions de GES intrinsèques des biens et services. Il s'agit du premier protocole de comptabilisation de l'empreinte carbone des produits.
Lignes directrices générales en matière de durabilité en matière d'environnement bâti			
PAS 2080:2023	Gestion du carbone dans les infrastructures	Lignes directrices en matière de décarbonation de l'environnement bâti	Il s'agit d'une norme mondiale pour la gestion du carbone dans l'environnement bâti. Elle explique comment quantifier le carbone et présente des stratégies de décarbonation. Les dernières modifications assurent une cohérence avec les normes EN 15978 et EN 15804.
ISO 21678:2020	Développement durable dans les bâtiments et les ouvrages de génie civil – Indicateurs et référentiels – Principes, exigences et lignes directrices	Durabilité dans l'environnement bâti	La norme couvre les principes et les lignes directrices pour l'évaluation des performances sociales, économiques et environnementales à l'aide de référentiels et d'indicateurs.

Note : Afin de faciliter la lecture, ce rapport fait référence au code ou à un titre abrégé.



## Introduction

### Objectif

Ce rapport décrit comment l'introduction de stratégies de conception et de construction circulaires peut influencer la pratique de l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment.

Les stratégies circulaires gagnent du terrain en tant que solution pour atteindre les objectifs de développement durable et représentent une rupture par rapport à l'approche linéaire conventionnelle de la conception et de la construction des bâtiments. L'identification des impacts des bâtiments qui intègrent ces stratégies requiert une adaptation des approches conventionnelles en analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment. Ce rapport vise à aider les praticien.iennes de l'ACV de l'ensemble du bâtiment à modéliser et à prendre en compte les stratégies circulaires. Dans cette perspective, il débute avec un aperçu des stratégies circulaires et des pratiques de l'ACV de l'ensemble du bâtiment et une explication détaillée des considérations importantes lors de l'étude des impacts environnementaux de bâtiments qui intègrent la circularité. Ce document peut être utilisé pour informer le processus de comptabilisation des impacts et le processus de conception de scénarios à des fins d'aide à la décision à l'étape de la conception. L'objectif de ce rapport n'est pas de redéfinir les principes de l'économie circulaire ou de l'ACV de l'ensemble du bâtiment, mais de résumer et de décrire les meilleures façons de les appliquer dans la pratique et de les prendre en compte en fonction des normes, des lignes directrices et des recherches actuelles.

### Contexte

Ce rapport fait principalement référence aux *lignes directrices nationales*, qui décrivent le processus de réalisation d'ACV de bâtiments canadiens. Les lignes directrices nationales et ce rapport renvoient à des normes ISO et EN pour les méthodologies d'ACV et d'ACV de l'ensemble du bâtiment. Lorsque des sujets ne sont pas couverts par les normes et lignes directrices existantes ou lorsqu'il n'y a pas de consensus, des informations supplémentaires sont fournies par des travaux de recherche. Ce rapport tient pour acquis que les lectrices ont une connaissance suffisante de l'ACV de l'ensemble du bâtiment et de l'économie circulaire.

Bien que la pratique de l'ACV de l'ensemble du bâtiment au Canada soit étroitement liée à des outils logiciels qui utilisent des données propriétaires et suivent des normes établies, ce rapport ne fournit pas de lignes directrices pour chaque étape de l'évaluation des stratégies circulaires à l'aide de ces outils puisque cela dépasse le cadre de ce rapport. Le document *Comparatif des outils d'ACV* publié par Studio Carbone donne un aperçu de l'état actuel des outils pour l'ACV de l'ensemble du bâtiment au Canada et des obstacles à l'intégration de la circularité.

### Structure

Ce rapport est structuré en deux parties :

La **section A** offre un aperçu des stratégies circulaires en construction, des pratiques de l'ACV de l'ensemble du bâtiment et des difficultés rencontrées lors de la réalisation d'une ACV de l'ensemble du bâtiment avec des stratégies circulaires et lors de la définition d'un scénario de référence.

La **section B** est divisée en sept chapitres, chacun représentant une stratégie ou un groupe de stratégies circulaires. Chaque chapitre aborde les sujets suivants : l'influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie, la modélisation de la stratégie et la comparaison avec un système de référence.



## Section A - Aperçu des stratégies circulaires et de l'ACV de l'ensemble du bâtiment

### Section A

---

Stratégies circulaires

---

Défis liés à l'introduction de stratégies circulaires dans les ACV de l'ensemble de bâtiment traditionnelles

---

Module D : au service de la circularité

---

Définition d'un bâtiment de référence pour l'ACV de l'ensemble du bâtiment

---

Considérations pour une analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment

---

Aperçu de la modélisation des stratégies circulaires dans une ACV de l'ensemble du bâtiment

## Stratégies circulaires

Ce rapport aborde des stratégies circulaires dans trois grandes catégories.

### B1. Stratégies qui visent à partager les matériaux entre les systèmes

B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

B1.2 Conception pour la déconstruction

B1.3 Rénovation de bâtiments existants

### B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments

B2.1 Conception pour la longévité

B2.2 Conception pour l'intensification spatiale

### B3. Stratégies qui visent à réduire les impacts des matériaux

B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux

B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique

Il existe plusieurs façons de définir des stratégies circulaires et de mettre en œuvre la circularité dans le secteur de la construction. Cependant, la quantification de leurs impacts à l'aide de l'ACV de l'ensemble du bâtiment ou d'autres méthodes demeure un défi. L'application de la circularité à l'environnement bâti est très bien décrite dans le cadre du *Circular Buildings Toolkit* (boîte à outils pour les bâtiments circulaires) développé par Arup et l'Ellen MacArthur Foundation. Accessible au public, cette boîte à outils contient la liste complète des principes de l'économie circulaire et un ensemble de stratégies et d'actions prioritaires pouvant être appliquées à des projets immobiliers. Les quatre principes sont :

1. Ne rien construire.
2. Construire pour une valeur à long terme.
3. Construire efficacement.
4. Construire avec les bons matériaux.

Ces principes sont mis en œuvre par des stratégies :

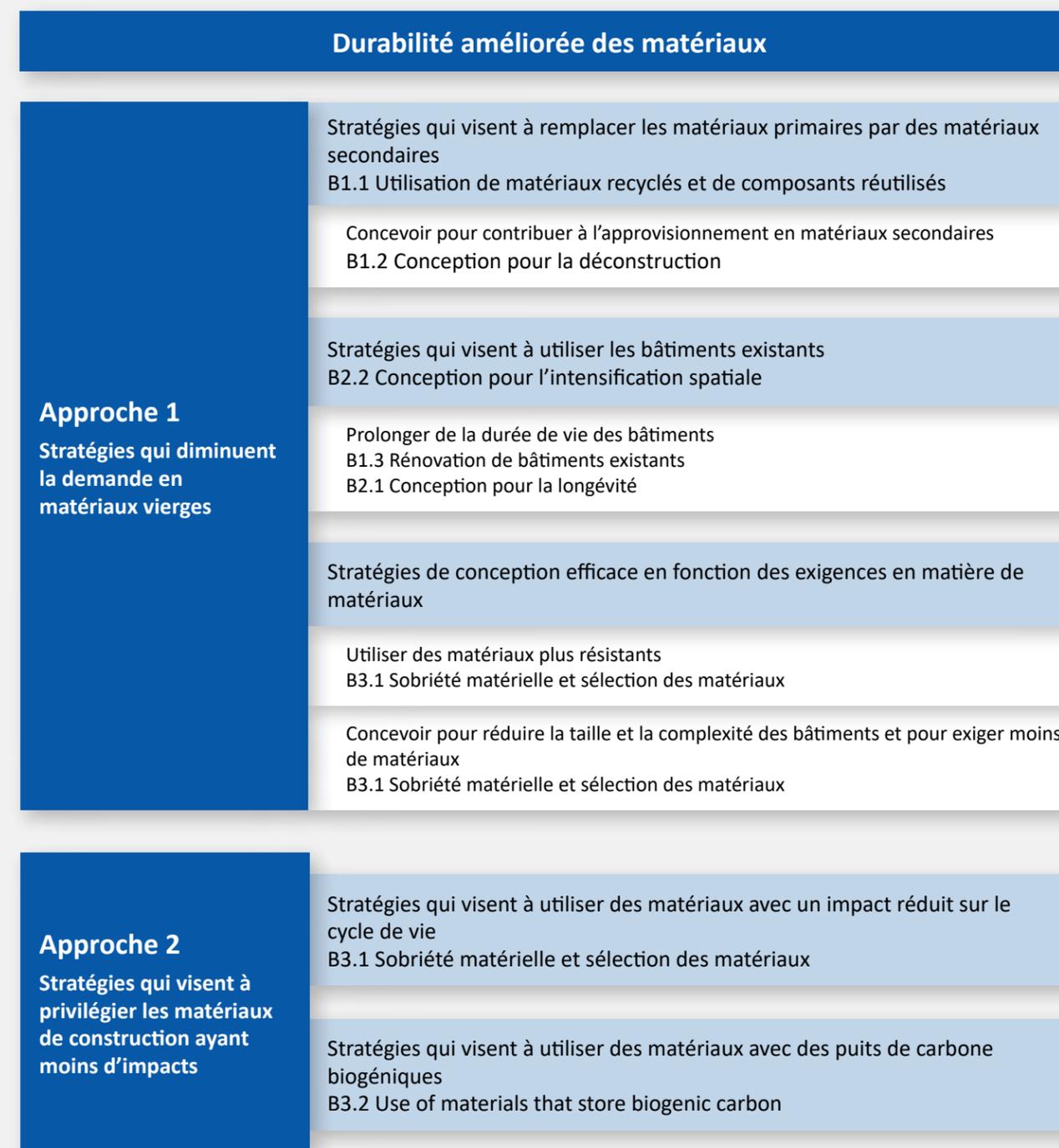
- Rejeter les nouvelles constructions et les composants inutiles.
- Augmenter l'utilisation des bâtiments et l'efficacité des matériaux.
- Concevoir pour la longévité/l'adaptabilité/le désassemblage.
- Réduire l'utilisation de matériaux vierges, non renouvelables et qui génèrent de grandes quantités de carbone.
- Concevoir sans matériaux dangereux.

Les stratégies sont mises en œuvre sous la forme d'un ensemble d'actions au cours de l'étape projet. Parmi ces actions sont les connexions réversibles, la réduction des finitions, l'évitement de la construction en sous-sol, l'augmentation de la convertibilité, l'économie de fonctionnalité, les murs flexibles, les matériaux à haute résistance, les passeports matériaux, etc.

Bien qu'il s'agisse d'un outil complet pour définir la circularité dans l'environnement bâti, la catégorisation des stratégies du *Circular Buildings Toolkit* n'est pas parfaitement cohérente avec la méthodologie l'ACV de l'ensemble du bâtiment qui est axée sur les résultats. Les résultats sont les réductions et les augmentations des impacts du cycle de vie du bâtiment qui découlent de la mise en œuvre de stratégies et d'actions circulaires. Les actions et les stratégies définies dans la boîte à outils pour les bâtiments circulaires présentent un chevauchement important au niveau des résultats, alors que la modélisation de l'ACV de l'ensemble du bâtiment exige que ces résultats soient évalués individuellement. Une stratégie ou une action peut mener à plusieurs résultats qui doivent être modélisés séparément. Par exemple, les principes de la conception modulaire permettent d'améliorer l'efficacité des matériaux, de réduire les impacts de la construction et de faciliter la déconstruction future du système de bâtiment. Inversement, différentes stratégies ou actions peuvent représenter différentes manières d'obtenir le même résultat. Par exemple, la sobriété matérielle, les produits en bois d'ingénierie et l'acier à faible teneur en carbone atténuent les impacts de la production de matériaux primaires. Pour toutes ces raisons, dans ce rapport, une stratégie circulaire représente toute approche de conception ou de construction de bâtiments qui réduit les impacts (Figure 1).

En pratique, ce rapport caractérise les stratégies circulaires par leurs résultats ou leur impact direct sur la manière dont l'ACV de l'ensemble du bâtiment est menée plutôt que par leur approche de conception (comme la *Circular Buildings Toolkit*). Dans la section B, chaque chapitre représente un regroupement de stratégies qui partagent un résultat commun et nécessitent donc des approches similaires de modélisation de l'ACV de l'ensemble du bâtiment. Les chapitres expliquent comment adapter une ACV de l'ensemble du bâtiment pour tenir compte de l'objectif d'une stratégie circulaire.

Figure 1 : Récapitulatif des approches améliorées possibles en matière de durabilité des matériaux



## Défis liés à l'introduction de stratégies circulaires dans les ACV de l'ensemble de bâtiment traditionnelles

L'intérêt croissant pour la circularité dans la construction pose de nouveaux défis à la pratique de l'ACV de l'ensemble du bâtiment. Basée sur des modules (figure 2) telles que définies par les normes ISO et EN, cette méthode se divise en cycles de vie distincts afin de quantifier les impacts environnementaux associés aux différentes étapes du projet de façon efficace. Les approches conventionnelles de l'ACV de l'ensemble du bâtiment ont été conçues pour des projets linéaires fermés avec des durées de vie des matériaux et des limites de système clairement définies et ne sont donc pas toujours bien adaptées aux projets ayant une grande composante circulaire.

**Cette approche linéaire ne permet pas de bien saisir les réductions des impacts environnementaux ni les avantages engendrés par les stratégies circulaires qui ont souvent lieu au-delà des limites du système.**

Parmi les exemples d'avantages en dehors des limites du système sont ceux qui découlent de la conception pour la déconstruction qui facilite la réutilisation de matériaux secondaires dans de futurs projets de construction et les stratégies de rénovation et de conception pour l'adaptabilité qui remplacent le besoin de construction en prolongeant la durée de vie utile des bâtiments existants. Il est difficile d'appliquer les approches conventionnelles de l'ACV de l'ensemble du bâtiment aux projets dans lesquels les limites du système du bâtiment se confondent et dans lesquels les matériaux et les composants sont partagés entre les projets par le biais de la déconstruction et de la réutilisation. C'est notamment le cas pour les rénovations puisque l'ensemble du bâtiment peut être considéré comme un composant réutilisé.

**La répartition des impacts entre les systèmes de bâtiment représente un défi pour les praticien.iennes, surtout en raison des lacunes et des divergences actuelles dans les normes de l'ACV de l'ensemble du bâtiment et de l'ACV.**

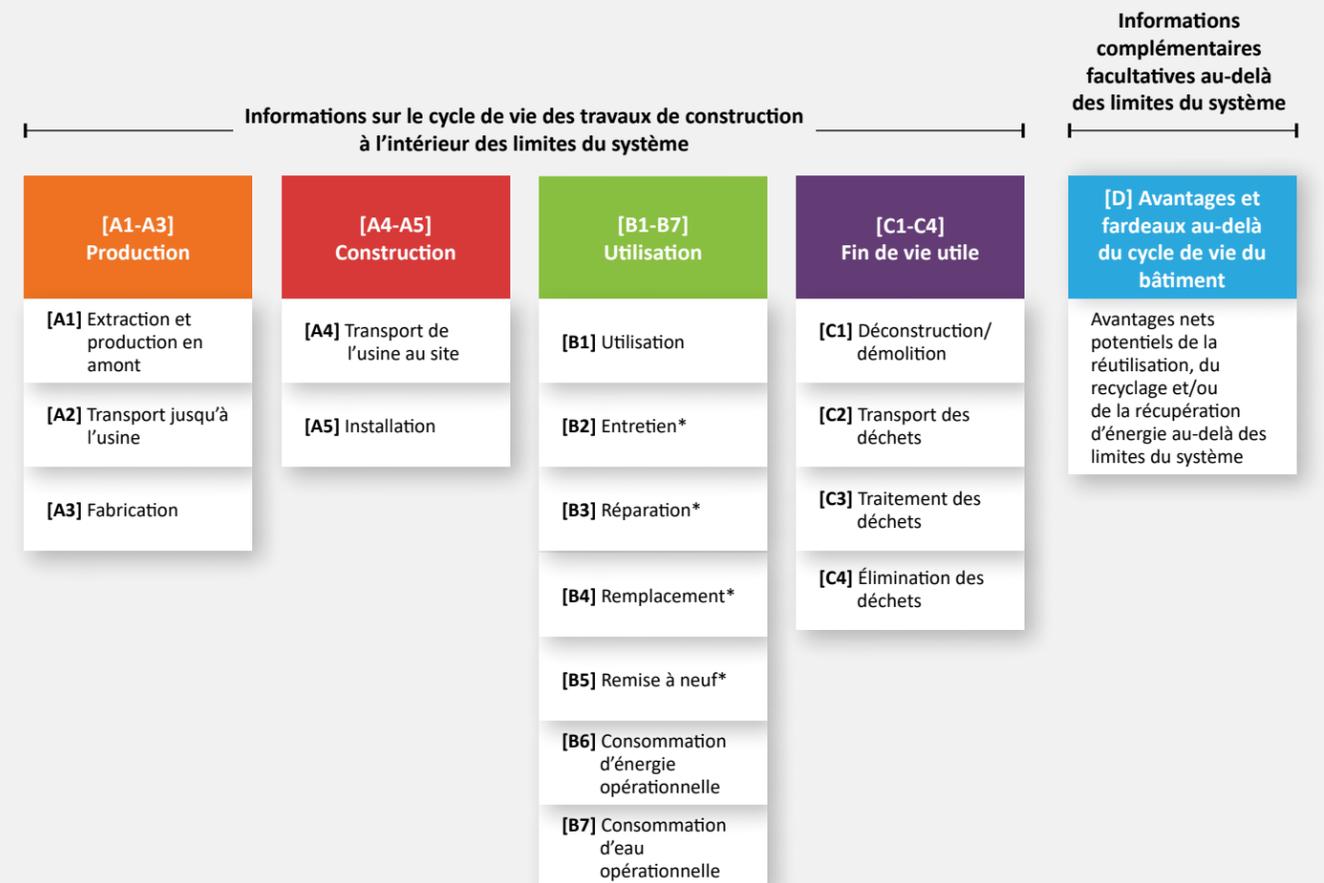
## Module D : au service de la circularité

**Le module D joue un rôle important quand vient le temps de cerner les avantages des stratégies circulaires puisque de nombreux bénéfices sont issus de résultats qui se situent au-delà des limites du système.**

Le module D s'inscrit dans la quatrième étape du cycle de vie définie dans les normes ISO 21930 (7.1.7.6) et EN 15978 (7.4.6) afin de capter les fardeaux et les avantages qui existent en dehors des limites du système. Les deux normes précisent que les résultats du module D doivent être séparés des résultats des étapes A à C du cycle de vie. Ce module n'est pas considéré comme une étape explicite du cycle de vie et est souvent utilisé pour tenir compte des concepts de circularité. De plus, les hypothèses sur lesquelles reposent les calculs doivent refléter les pratiques et les technologies actuelles. Malgré cela, une ambiguïté demeure, car les normes ne traitent que de la réutilisation, du recyclage et de la récupération d'énergie, alors qu'il existe plusieurs autres types d'avantages en dehors des limites du système.

Là encore, il peut s'agir des avantages de la rénovation et de l'adaptation qui éliminent la nécessité de construire de nouveaux bâtiments plus tard et des avantages découlant du stockage du carbone biogénique. Ce dernier point est inclus dans le module D de certains cadres et outils tels qu'Athena Impact Estimator for Buildings. De nombreuses normes fournissent des lignes directrices pour la comptabilisation du carbone biogénique bien qu'elles ne soient pas harmonisées.

Figure 2 : Étapes et modules de l'ACV pour l'ensemble du bâtiment selon ISO 21930 : 2017 (E)



\*Incluant la production, le transport et l'élimination des matériaux nécessaires.

## Définition d'un bâtiment de référence pour l'ACV de l'ensemble du bâtiment

Il est essentiel de définir un bâtiment de référence pour quantifier les avantages et les inconvénients de la mise en œuvre de stratégies circulaires par rapport aux pratiques de construction conventionnelles.

- Les lignes directrices nationales comprennent une section sur les points de référence pour définir un indice auquel un bâtiment peut être comparé. Les lignes directrices ne prévoient pas la définition des bâtiments de référence et renvoient au guide de l'ASCE qui décrit les hypothèses à inclure dans la définition d'un bâtiment de référence réaliste.
- Le guide de l'ASCE s'appuie sur l'*Athena Guide to Whole Building LCA in Green Building Programs, Appendix B : FURTHER RECOMMENDATIONS FOR THE REFERENCE BUILDING DESIGN*, mais simplifie les options en les ramenant de 4 à 3.
- La norme ISO 21678 fournit un cadre pour l'identification des points de référence, y compris les sources d'information qui peuvent être utilisées, notamment les enquêtes, les statistiques et les bâtiments de référence.
- Les certifications et les normes environnementales telles que LEED et les normes du bâtiment à carbone zéro du Conseil du bâtiment durable du Canada fournissent également des instructions pour définir un bâtiment de référence afin de comparer l'ACV de l'ensemble du bâtiment, de satisfaire les exigences des crédits et de répondre aux objectifs.

Un bâtiment de référence représente généralement l'approche de statu quo (*business as usual*) de la construction d'un bâtiment qui répond au même ensemble d'exigences fonctionnelles que le bâtiment du projet. Elle peut être basée sur une analyse de bâtiments existants représentatifs, sur l'état des pratiques conventionnelles ou sur une version antérieure de la conception. Cela soulève la question de savoir si, à mesure que les stratégies de conception environnementale sont adoptées par l'ensemble du secteur, la définition

du bâtiment de référence évoluera également au fil du temps.

Le guide de l'ASCE est très clair dans sa définition du bâtiment de référence et indique que le bâtiment de référence doit être équivalent au bâtiment du projet sur le plan fonctionnel et identique à celui-ci, à l'exception des matériaux ou des composants modifiés.

Cette approche rigoureuse comporte des limites lorsque les stratégies circulaires donnent lieu à des bâtiments qui présentent des programmes et/ou des systèmes structurels différents de ceux qui reposent sur l'approche de statu quo. Dans ces cas, un bâtiment de référence réaliste ne serait plus équivalent à la conception proposée sur le plan fonctionnel. Le guide de l'ASCE reconnaît ce fait et indique que des écarts par rapport à la définition de l'équivalence fonctionnelle peuvent être acceptables dans les cas où des systèmes structurels alternatifs sont proposés. Cela est conforme à l'esprit et à l'intention de l'ACV, qui a été créée pour contribuer à l'amélioration de la conception des produits et des processus. Le guide de l'ASCE doit donc être suivi dans les cas simples où des matériaux et des composants sont remplacés dans une conception relativement statique.

Lorsque les stratégies entraînent des modifications importantes au système structurel, une augmentation de la durée de vie du bâtiment ou des différences (mineures) de fonctionnalité, des écarts entre le projet et les bâtiments de référence peuvent être acceptables et demeurer conformes à l'intention du guide de l'ASCE. Ces cas sont définis dans les différents chapitres de la section B de ce rapport. Dans ces cas, le bâtiment de référence doit représenter avec exactitude le type de bâtiment qui aurait été construit selon l'approche de statu quo et toutes les hypothèses doivent être documentées de façon claire. Enfin, lorsque l'on compare plusieurs stratégies, le bâtiment de référence sert de dénominateur commun, avec une fonction et une durée de vie clairement précisées. Le tableau 2 présente les systèmes de bâtiments de référence pertinents pour chaque stratégie circulaire. Ces systèmes sont examinés plus en détail dans la section B.

Tableau 2. Stratégies circulaires et bâtiments de référence à des fins de comparaison

Stratégie circulaire	Résultat de la stratégie	Système de bâtiment de référence
<b>B1. Stratégies qui partagent les matériaux entre les systèmes</b>		
B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés	Bâtiment construit avec des matériaux à plus faible impact (leurs impacts sont attribués au système précédent).	Bâtiment identique mais construit avec des matériaux conventionnels.
B1.2 Conception pour la déconstruction	Bâtiment dont les matériaux seront réutilisés ou recyclés à un taux plus élevé.	Bâtiment identique dont les matériaux sont recyclés et réutilisés à des taux conventionnels.
B1.3 Rénovation de bâtiments existants	Prolongation de la durée de vie du bâtiment ou création d'un nouveau système de bâtiment en utilisant la structure précédente comme composant réutilisé.	Selon la façon dont le système de rénovation est défini : plusieurs bâtiments sur le même site, démolition et reconstruction d'un nouveau bâtiment, autres approches.
<b>B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments</b>		
B2.1 Conception pour la longévité	Bâtiment avec des approches de conception comme la conception pour l'adaptabilité qui augmente la durée de vie prévue du bâtiment.	Bâtiment unique avec une durée de vie conventionnelle évalué en utilisant une nouvelle unité fonctionnelle basée sur le temps (impact/an); bâtiments conçus pour différents usages avec des durées de vie conventionnelles construits séquentiellement sur le même site ou un bâtiment unique avec des besoins d'entretien élargis et un remplacement accru de ses composants pour s'adapter au changement d'utilisation.
B2.2 Conception pour l'intensification spatiale	Bâtiment avec des approches de conception qui augmentent la densité d'activité aujourd'hui.	Bâtiment unique avec une densité d'activité conventionnelle évaluée en utilisant une nouvelle unité fonctionnelle basée sur l'activité (impact/m <sup>2</sup> , impact/unité, impact/occupant).
<b>B3. Stratégies de réduction des impacts des matériaux</b>		
B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux	Bâtiment conçu avec une plus grande efficacité matérielle et des variantes (p. ex : dalles creuses, poutres cellulaires, élimination des finitions).	Bâtiment avec une conception et un système de bâtiment conventionnels.
B3. 1 (Sobriété matérielle et) sélection des matériaux)	Bâtiment construit avec des matériaux à faible impact (p. ex : à faibles émissions de carbone).	Bâtiment identique mais construit avec des matériaux conventionnels.
B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique	Bâtiment avec un système de bâtiment biosourcé ou qui utilise des composants biosourcés.	Bâtiment avec des systèmes de bâtiment conventionnel qui ne stockent pas le carbone.

## Considérations pour une analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment

Des réflexions et des décisions sont à prendre en compte lors de la réalisation d'une analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment qui tient compte des stratégies circulaires :



### Objectif de l'ACV de l'ensemble du bâtiment

*À quelle étape de la conception l'ACV de l'ensemble du bâtiment est-elle réalisée ?*

Si l'ACV est réalisée au cours de l'étape de la conception afin d'aider à la prise de décision, l'analyse nécessitera des données de conception moins détaillées et une plus grande attention à de multiples scénarios alternatifs. Si elle est réalisée pour déterminer l'impact global d'une conception finalisée (dans le cadre d'un processus de certification environnementale éventuel), un niveau de détail plus élevé est alors requis.



### Limites du système

*Quels processus sont inclus dans le système à l'étude ?*

Des étapes ou des modules spécifiques peuvent être obligatoires ou facultatifs selon le système de certification visé ou les normes en vigueur. Les plus récentes normes européennes rendent les étapes C et D obligatoires, en plus des étapes A et B. Les ACV de projets de rénovation peuvent inclure la démolition ou la déconstruction des bâtiments existants ou se concentrer uniquement sur les nouveaux matériaux introduits.



### Durée de vie du projet

*Quelle est la durée de vie anticipée du projet ?*

Si la durée de vie anticipée du projet est plus longue que celle de bâtiments comparables et/ou que la période de référence définie par les normes qui orientent les ACV de l'ensemble du bâtiment, une comparaison efficace nécessitera l'un des éléments suivants : 1) calculer au prorata l'étape d'utilisation de l'un des projets de manière à ce que les durées de vie des deux bâtiments correspondent ou 2) utiliser une unité fonctionnelle temporelle telle que l'impact/an comme base de comparaison. Si la durée de vie du projet est plus longue que celle des matériaux ou des composants, il faut tenir compte des incidences supplémentaires liées au remplacement.



### Bâtiment de référence

*Est-ce qu'un bâtiment de référence est nécessaire ? Comment est-il défini ?*

Un bâtiment de référence peut être basé sur une analyse des bâtiments existants, des pratiques conventionnelles ou une version antérieure de la conception. Une fois le bâtiment de référence défini, il faut choisir l'unité fonctionnelle qui sera utilisée pour la comparaison. L'unité fonctionnelle peut représenter l'ensemble du bâtiment ou une unité normalisée telle que le mètre carré de surface brute de plancher.

## Aperçu de la modélisation des stratégies circulaires dans une ACV de l'ensemble du bâtiment

Table 3. Stratégies circulaires et bâtiments de référence à des fins de comparaison

Stratégie	Définition	Avantage (à l'intérieur du système ou en dehors)	Mécanisme	Modélisation dans une ACV de l'ensemble du bâtiment	Autres impacts du cycle de vie à prendre en compte
<b>B1. Stratégies qui visent à partager les matériaux entre les systèmes</b>					
B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés	Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés.	À L'INTÉRIEUR DU SYSTÈME : Réduction des fardeaux à l'étape A. La majorité de la réduction se fait généralement dans le module A1.	Réduit la demande de matériaux vierges et leurs impacts, tandis que les impacts des matériaux secondaires sont attribués à leurs systèmes précédents.	Requiert une analyse des impacts associés aux processus de réutilisation et de recyclage. Des ajustements peuvent être nécessaires pour tenir compte de la dégradation des matériaux.	Nouveaux impacts qui découlent des processus de recyclage et au transport.
B1.2 Conception pour la déconstruction	Stratégies de conception qui facilitent la déconstruction plutôt que la démolition d'un bâtiment.	À L'INTÉRIEUR DU SYSTÈME : Modification des fardeaux à l'étape C.	Facilite la réutilisation des matériaux et des composants par des projets futurs. Permet aux projets futurs d'éviter les impacts du cycle de vie associés à la production de matériaux vierges.	Les impacts de la production évités dans les projets futurs sont calculés comme dans B1.1 et comptabilisés dans le module D du projet en cours.	La déconstruction est généralement plus énergivore que la démolition conventionnelle.
B1.3 Rénovation de bâtiments existants	Réutilisation d'un bâtiment existant et de ses composants.	EN DEHORS DU SYSTÈME : Avantage mesuré par rapport à un scénario de référence équivalent à un nouveau bâtiment construit sur le site.	Évite les impacts associés à un nouveau cycle de construction et de démolition.	Les rénovations peuvent être considérées comme des processus de l'étape d'utilisation d'un système existant ou comme le début d'un nouveau système dans lequel la structure existante est considérée comme un composant réutilisé. Il existe plusieurs approches possibles pour comparer les scénarios de rénovation et de construction neuve.	Des rénovations complexes peuvent être plus énergivores que les constructions neuves. Les impacts de l'étape de l'utilisation peuvent être plus élevés que ceux d'une nouvelle construction.
<b>B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments</b>					
B2.1 Conception pour la longévité	Stratégies de conception visant à augmenter la durée de vie anticipée du bâtiment.	EN DEHORS DU SYSTÈME : Avantage mesuré par rapport à un scénario de référence équivalent à un nouveau bâtiment construit sur le site.	Réduit le besoin de construction plus tard et répartit les impacts de la construction et de la démolition sur une plus longue période.	L'ACV est réalisée de manière habituelle. Les avantages par rapport à l'approche du statu quo sont calculés en élargissant le système de référence pour inclure plusieurs bâtiments de façon séquentielle ou en changeant l'unité de comparaison pour l'impact par an.	Les conceptions flexibles seront moins optimisées pour une utilisation initiale par rapport à des projets typiques.
B2.2 Conception pour l'intensification spatiale	Stratégies de conception qui visent à accroître l'utilisation ou le nombre d'utilisations potentiels d'un bâtiment pendant sa durée de vie.	EN DEHORS DU SYSTÈME : Avantage mesuré par rapport à un scénario de référence équivalent à des bâtiments plus grands ou des bâtiments multiples.	Réduit le besoin de construction additionnelle grâce à une utilisation plus efficace de l'espace ou à la colocalisation des utilisations.	L'ACV est réalisée de manière habituelle. Les avantages sont calculés en élargissant le système de référence pour inclure plusieurs bâtiments en parallèle ou en changeant l'unité de comparaison pour l'impact par unité d'utilisation.	Les stratégies qui diminuent l'impact par unité fonctionnelle peuvent augmenter l'impact global du cycle de vie.
<b>B3. Stratégies qui visent à réduire les impacts des matériaux</b>					
B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux	Stratégies qui visent à réduire l'empreinte matérielle d'un projet.	À L'INTÉRIEUR DU SYSTÈME : Réduction des fardeaux à l'étape A, ainsi qu'aux étapes B et C dans le cas de la sobriété matérielle.	Réduction de l'empreinte matérielle en utilisant des matériaux à faible teneur en carbone ou en réduisant la quantité globale de matériaux grâce à l'augmentation de l'efficacité matérielle des composants ou des systèmes.	L'ACV est réalisée de manière habituelle. Il est important d'inclure tout impact en aval supplémentaire potentiellement induit par des choix de matériaux ou de conception non conventionnels tels qu'un entretien plus intense ou une fréquence de remplacement plus élevée. Différents systèmes peuvent également avoir des impacts différents sur la construction et/ou la déconstruction.	Les matériaux à faible teneur en carbone peuvent être moins résistants et seront donc requis en plus grandes quantités. Les structures comme les finitions peuvent nécessiter des traitements chimiques.
B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique	Séquestration et stockage du carbone en utilisant des matériaux biosourcés.	EN DEHORS DU SYSTÈME : Tout avantage doit être signalé séparément des autres modules.	Selon les hypothèses qui sont utilisées, le stockage temporaire et/ou permanent du carbone peut entraîner des avantages sur le cycle de vie.	Il existe plusieurs approches différentes pour comptabiliser le carbone biogénique dans une ACV de l'ensemble du bâtiment. Ce rapport recommande de compléter les lignes directrices nationales avec d'autres (ISO 14067, EN 15804).	L'efficacité du stockage du carbone dépend de ce qui se passe en fin de vie utile et n'affecte que la catégorie d'impact portant sur les changements climatiques.



# Section B - Compte-rendu détaillé des stratégies circulaires et l'analyse du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment

## Section B

- B1. Stratégies qui visent à partager les matériaux entre les systèmes
  - B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés
  - B1.2 Conception pour la déconstruction
  - B1.3 Rénovation de bâtiments existants
- B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments
  - B2.1 Conception pour la longévité
  - B2.2 Conception pour l'intensification des usages
- B3. Stratégies de réduction des impacts des matériaux
  - B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux
  - B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique

## B1. Stratégies qui visent à partager les matériaux entre les systèmes

Cette section porte sur les stratégies circulaires :

### B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

### B1.2 Conception pour la déconstruction

### B1.3 Rénovation de bâtiments existants

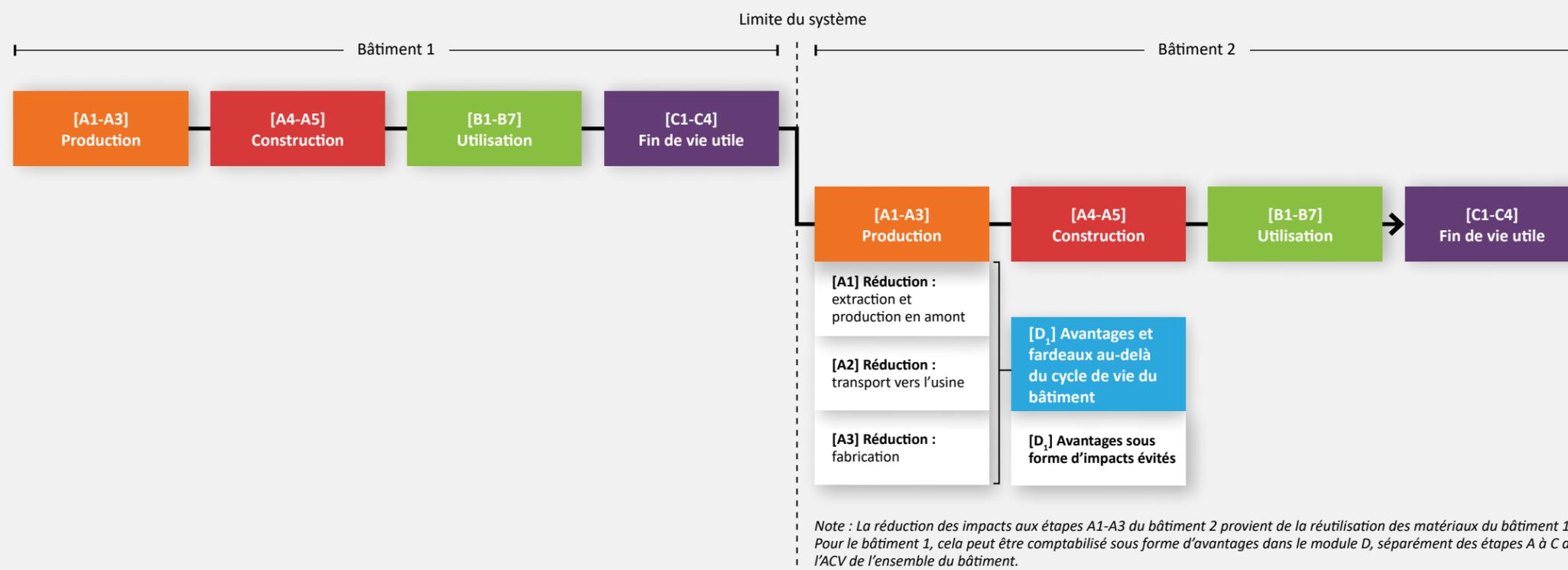
Ces stratégies ont été regroupées, car elles impliquent le partage de matériaux entre les systèmes de bâtiments. L'utilisation de matériaux secondaires tels que les composants réutilisés et recyclés a un effet bénéfique sur le cycle de vie en réduisant la demande de matériaux primaires. Cette réduction de la demande peut avoir lieu dans le présent ou plus tard. Toutefois, la comptabilisation de ces avantages dans une ACV de l'ensemble du bâtiment pose certains défis.

Le partage des matériaux entre les systèmes introduit un risque de double comptabilisation si les mêmes impacts de production sont comptabilisés dans le cadre de la construction de plusieurs bâtiments. Plusieurs méthodes d'allocation ont donc été développées pour répartir les impacts du cycle de vie des matériaux partagés entre plusieurs systèmes.

### La méthode d'allocation 100/0

Proposée dans les normes ISO et EN et aussi connue sous le nom de la méthode de coupure, la méthode d'allocation 100/0 est l'approche la plus courante. Avec cette méthode, le projet qui intègre des matériaux secondaires (bâtiment 2 dans la figure 3) n'est pas responsable des impacts liés à leur production (modules A1-A3) dans son propre ACV de l'ensemble du bâtiment puisque ceux-ci ont déjà été attribués au projet précédent (bâtiment 1 dans la figure 3). Ainsi, le bâtiment 2 bénéficie de tous les avantages de la réutilisation. De plus, si le bâtiment 1 avait été conçu pour être déconstruit afin de faciliter la réutilisation des matériaux et des composants, le seul avantage mesurable serait un impact légèrement inférieur en fin de vie utile grâce à une réduction dans l'élimination des déchets.

Figure 3 : La méthode d'allocation 100/0



L'allocation 100/0 favorise donc l'utilisation de composants réutilisés et recyclés par rapport à la conception pour la démolition puisque le bâtiment 2 bénéficie de la plupart des avantages liés au partage des matériaux<sup>1,2,3</sup>. Le bâtiment 1 peut engendrer des réductions potentielles de futurs impacts du cycle de vie par le biais du module D, qui ne peut pas être agrégé avec les étapes A à C de l'ACV de l'ensemble du bâtiment.

### Autres méthodes d'allocation

Bien que l'allocation 100/0 demeure l'approche la plus courante dans l'ACV de l'ensemble du bâtiment, il existe d'autres méthodes d'allocation :

- 0/100 ou l'approche des fardeaux évités ou de la fin de vie utile qui est généralement utilisée dans un contexte de recyclage pour créditer les produits de consommation recyclés.
- 50/50 favorise une allocation égale des fardeaux entre les systèmes.
- Empreinte environnementale de produit qui est une allocation plus complexe qui tient compte de la dégradation des matériaux. Elle fait partie d'un cadre européen visant à quantifier les impacts des produits de consommation, y compris les matériaux de construction.
- D'autres méthodes d'allocation basées sur des quantités physiques ou monétaires qui sont généralement appliquées aux systèmes de fabrication uniquement.

De façon générale, ces méthodes d'allocation ne s'appliquent que dans le cadre de travaux de recherche (bien que l'empreinte environnementale de produit soit plus courante dans le contexte européen) et ne sont donc pas abordées dans les pages suivantes de ce rapport. Cependant, il peut y avoir des cas spécifiques où une méthode est mieux adaptée que 100/0. Par exemple, il est possible qu'un projet dans lequel une structure temporaire sera remplacée par une structure plus permanente soit mieux représenté par l'allocation 0/100.

### Définition de la limite entre les systèmes

Il arrive un moment à la fin de l'étape C où les matériaux réutilisés et recyclés passent du bâtiment 1 au bâtiment 2.

Il est important de définir cette limite, car les impacts avant la limite sont attribués à l'étape C du premier système de bâtiment, tandis que les impacts après la limite sont attribués à l'étape A du deuxième système de bâtiment. Ces impacts de l'étape A dans le deuxième système servent également à définir les avantages dans le module D du premier système.

Il est important de définir cette limite, car les impacts avant la limite sont attribués à l'étape C du premier système de construction, tandis que les impacts après la limite sont attribués à l'étape A de l'autre système de construction. La limite entre les étapes C et A peut être ambiguë<sup>4</sup> et doit être considérée comme une distinction entre le traitement et la transformation des déchets (ainsi que la manutention et le transport associés) et les processus de recyclage (ainsi que la manutention et le transport associés).

Cette limite entre deux systèmes est également connue sous le nom d'état final des déchets. Tel que défini par la norme EN15978, cet état est atteint lorsque le matériau récupéré peut être utilisé à des fins secondaires spécifiques, qu'il a une valeur économique, qu'il répond aux exigences techniques, qu'il satisfait aux normes et à la législation applicables et qu'il n'aura pas d'incidence négative sur l'environnement ou la santé. Les matériaux ne peuvent sortir des limites du système du bâtiment 1 que lorsqu'ils ont été éliminés de manière appropriée et/ou qu'ils ont une valeur de recyclage. Cela signifie aussi que lorsqu'il s'agit d'activités de traitement, de réutilisation et de recyclage des déchets, les impacts de la manutention et du transport sont attribués au deuxième système. Lorsque l'état de la fin des déchets est indéterminé ou lorsque les processus de traitement des déchets, de réutilisation et de recyclage sont combinés en un seul processus ou une seule chaîne de processus, la modélisation de l'ACV de l'ensemble du bâtiment devra clairement formuler ces hypothèses. Cette démarche est conforme à la norme ISO 14044 qui ne fournit pas d'orientations sur la définition des limites entre les systèmes. Elle exige simplement que les décisions et les hypothèses soient clairement documentées. Le tableau 4 donne des indications supplémentaires sur la manière dont les différentes normes et lignes directrices abordent les méthodes d'allocation et la définition des limites du système.

Tableau 4. Normes et lignes directrices sur les stratégies qui visent à partager les matériaux entre systèmes

Norme/ligne directrice	Description
<b>Normes relatives aux méthodes d'allocation et à la définition des limites du système en analyse cycle de vie de l'ensemble du bâtiment</b>	
Lignes directrices nationales	Basées sur la norme EN 15978, elles font référence à l'approche 100/0 (méthode de coupure). Tout avantage tiré d'une réutilisation future doit être quantifié dans le module D – [6.2] tel que décrit dans la section 7.4.6 D de la norme EN 15978 et caractérisé plus en détail dans l'article 7.1.7.6 de la norme ISO 21930, le module D tient compte des avantages et fardeaux environnementaux potentiels qui se produisent après ce point (p. ex. : l'avantage engendré par un produit réutilisé dans le cycle de vie suivant).
EN 15804/EN 15978	Cette norme spécifie l'approche 100/0 (méthode de coupure). Les avantages de la réutilisation doivent être quantifiés dans le module D – [EN 15978, article 7.4.6] : le module D quantifie les avantages environnementaux nets ou les fardeaux de la réutilisation, du recyclage et de la récupération d'énergie en fonction des flux nets de matières et d'énergie exportée au-delà des limites du système. La norme définit l'état de fin de vie des déchets comme la distinction entre deux systèmes ultérieurs : – [EN15804, article 6.4.3.3] : la limite du système en fin de vie du système de produit de construction est fixée là où les extrants du système à l'étude ont atteint l'état final des déchets. – [EN 15804, article 6.3.4.5] : l'état final des déchets est atteint lorsqu'un matériau ou produit répond aux critères suivants : il est couramment utilisé à des fins spécifiques ; il existe un marché ou une demande pour ce produit ; il répond à des exigences techniques à des fins spécifiques ; son utilisation n'entraînera pas d'effets néfastes globaux.
ISO 21930:2017	Cette norme prescrit l'utilisation de l'approche 100/0 (méthode de coupure) – [ISO 21930, article 7.2.6] : la procédure d'allocation pour les flux qui s'étendent à d'autres systèmes de produits (allocation au recyclage) est simple. Aucun fardeau n'est attribué au-delà des limites du système avec les flux de matières secondaires, de combustibles secondaires ou d'énergie récupérée provenant de déchets. Il n'existe pas de définition de <i>l'état final des déchets</i> , qui fait référence au traitement jusqu'aux limites du système.
<b>Normes générales en matière d'ACV</b>	
ISO 14040/14044 ISO 14067	Cette norme ne recommande pas l'allocation, mais si les allocations ne peuvent être évitées, le document fournit une définition des procédures en boucle fermée ou ouverte. Seule cette dernière est pertinente dans le domaine de la construction – [ISO 14044, article 4.3.4.3.3/ISO 14067 article 6.4.6.3] : la construction est considérée comme étant en boucle ouverte, car le matériau est recyclé dans d'autres systèmes de produits et subit une modification de ses propriétés inhérentes. La procédure d'allocation pour les processus en boucle ouverte est décrite dans la norme ISO 14067 D.4. Elle ne définit pas explicitement les processus qui sont considérés comme faisant partie de la fin de vie du produit d'origine ou comme faisant partie de l'étape de production d'un produit secondaire. Elle précise toutefois que les hypothèses doivent être clairement documentées. – [ISO 14044, article 4.3.4.3.2/ISO 14067, article 6.4.6.3] : Pour les processus de récupération entre le système de produit d'origine et le système de produit ultérieur, les limites du système doivent être identifiées et expliquées afin d'assurer que les principes d'allocation soient suivis tels que décrits à l'article [4.3.4.2].
Empreinte environnementale de produit	La méthodologie de l'empreinte environnementale de produit (PEF : <i>product environmental footprint</i> ) spécifie une formule d'empreinte circulaire ( <i>CFP : circular footprint formula</i> ) qui vise à évaluer les émissions globales de tous les processus, y compris ceux dont les scénarios de fin de vie utile prévoient la réutilisation, le recyclage et l'incinération. La formule combine les trois principes d'allocation : 100/0, 0/100, 50/50 et des considérations relatives à la dégradation des matériaux. – [PEF article 7.7 sur la gestion des processus multifonctionnels] : fournit une hiérarchie décisionnelle pour la modélisation des systèmes multifonctionnels en fonction de la norme ISO 14040 : subdivision ou expansion du système, allocation en fonction des caractéristiques physiques, allocations basées en fonction de la formule d'empreinte circulaire. Ce rapport n'approfondit pas le concept d'expansion du système étant donné qu'il s'agit d'un processus qui s'applique principalement aux systèmes en boucle fermée. La construction de bâtiments est considérée comme un système en boucle ouverte. – [PEF article 7.18 sur la modélisation de la fin de vie] : définit la formule d'empreinte circulaire ainsi que tous les paramètres et les cas d'utilisation.

## B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

Ce chapitre décrit plus en détail l'approche à adopter lorsqu'un bâtiment comporte des matériaux recyclés et des composants réutilisés. Avec l'allocation 100/0, le remplacement de matériaux primaires par des alternatives secondaires évite tout impact dû à la production de ces matériaux primaires. Les fardeaux associés à la production initiale de ces matériaux sont attribués au premier système (bâtiment ou autre) dont ils faisaient partie. Le projet en cours ne doit prendre en compte que les impacts du recyclage ou d'autres activités permettant la réutilisation (remanufacturation, remise à neuf, réparation, etc.) et les activités de stockage et de transport qui y sont associées (voir figure 4).

### Quelques exemples :

- Débris de béton recyclé pour le remblai ou granulats de béton concassé dans du nouveau béton
- Réutilisation des portes, des fenêtres ou de l'équipement de salle de bain
- Réutilisation des éléments structurels (briques, bois, poutres en acier)
- Utilisation de matériaux de construction à plus forte teneur en matières recyclées tels que la moquette et les carreaux de plafond

### Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

Les principaux changements apportés à l'ACV de l'ensemble du bâtiment concernent l'étape A en raison de l'allocation des impacts de la production au système précédent. L'étape A doit désormais prendre en compte tous les impacts des activités de recyclage, de remise à neuf, de tri, de nettoyage et de transport. De plus, la durée de vie utile réduite de nombreux composants réutilisés doit être prise en compte. Ceci est important dans les cas où un composant réutilisé nécessite un cycle de remplacement plus hâtif que son équivalent plus neuf, ce qui aura un impact sur l'étape B.

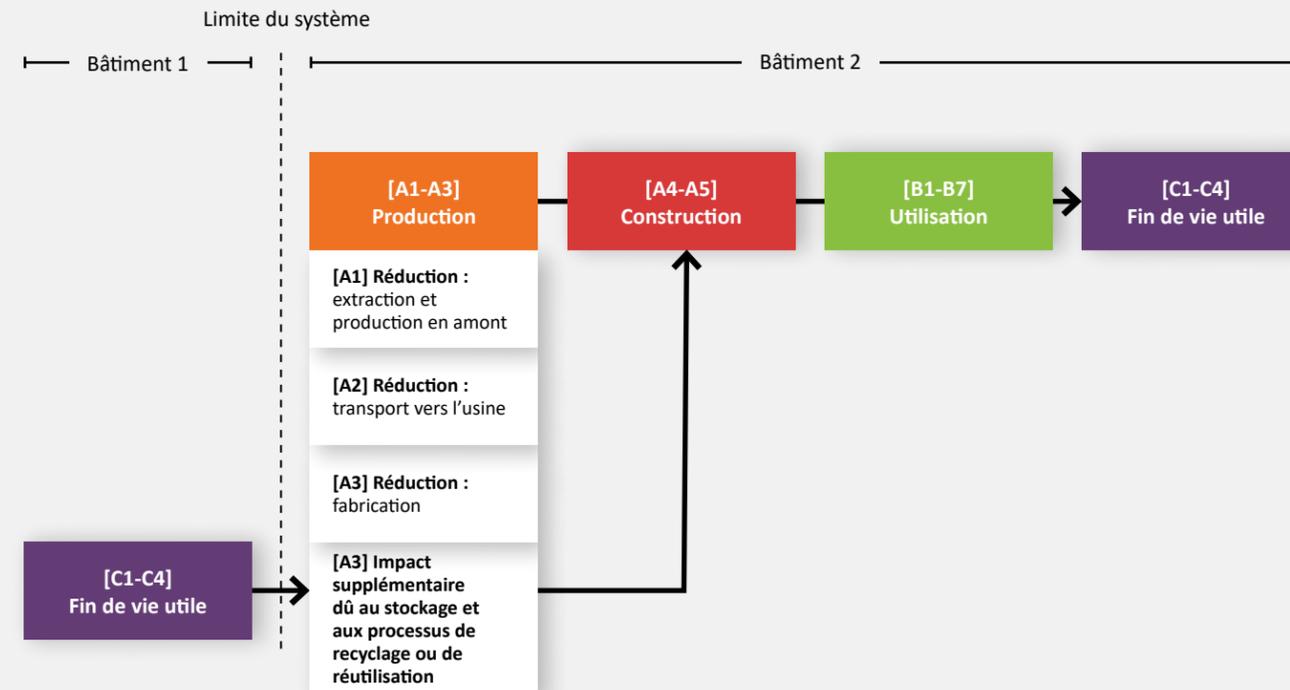
Bien qu'il soit possible de remplacer des composants par des composants réutilisés supplémentaires, il n'est pas réaliste de supposer qu'un tel cycle de la chaîne d'approvisionnement existe étant donné l'absence de marchés ou d'écosystèmes de matériaux secondaires établis. De plus, les normes courantes ne fournissent pas

Figure 4 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour l'utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

#### Système de référence : bâtiments conventionnels



#### Système de projet : bâtiment composé de matériaux recyclés et réutilisés



Note : La réduction des impacts aux sous-étapes A1 à A3 du bâtiment 2 découle de la réutilisation des matériaux du bâtiment 1. Pour le bâtiment 1, cette réduction peut être considérée comme un avantage dans le module D, séparément des étapes A à C de l'ACV de l'ensemble du bâtiment.

### Équation 1 | Impact du module A ( $A_{LCI}$ ) pour les matériaux à contenu recyclé

$$A_{LCI} = E_v (1 - R_c) + E_r \times R_c$$

$R_c$  est le pourcentage de contenu recyclé dans un matériau.  $E_v$  représente les fardeaux environnementaux liés à l'acquisition et au traitement des matériaux primaires.  $E_r$  représente les fardeaux environnementaux liés au processus de recyclage des matériaux recyclés, y compris la collecte, le tri et le transport.

Formule adaptée du JRC Technical Report 1.

d'indications claires sur la manière d'estimer la durée de vie utile restante des composants réutilisés. Les composants réutilisés tels que les fenêtres et les portes peuvent moins bien performer que des produits plus récents et peuvent donc avoir un impact plus important sur le chauffage et/ou la climatisation pendant la durée de vie du bâtiment.

Enfin, l'utilisation de matériaux de construction réutilisés et recyclés à des fins structurelles nécessite souvent des inspections, des essais structurels et des certifications afin d'assurer l'équivalence fonctionnelle des matériaux secondaires par rapport à un système de référence et d'avoir une assurance contre les risques. Bien qu'il existe des certifications garantissant le contenu recyclé des matériaux, peu de certifications attestent de la performance structurelle des composants réutilisés. Ces certifications ont été introduites en Europe, comme le marquage CE pour les briques recyclées, mais pas encore au Canada.

### Modélisation de la stratégie

À l'étape A, la modélisation doit d'abord identifier les matériaux vierges, réutilisés et recyclés dans la liste des matériaux. Pour les matériaux avec un pourcentage de contenu recyclé, les proportions de contenus primaires et recyclés doivent être traitées séparément (voir l'équation 1).

- Si une déclaration environnementale de produit (DEP) est disponible pour le matériau secondaire, les valeurs de la déclaration peuvent être transposées directement dans l'ACV de l'ensemble du bâtiment pour remplacer les impacts des matériaux vierges. Toutefois, les déclarations des produits réutilisés et recyclés sont peu courantes. Étant donné qu'elles sont basées sur des ACV de produits, elles se heurtent à de nombreux problèmes similaires à ceux décrits dans ce rapport.
- Si une DEP n'est pas disponible ou si les données ne sont pas disponibles dans les bases de données d'inventaire du cycle de vie (ICV) commeecoinvent, le nouvel impact de l'étape A doit être déterminé en calculant les fardeaux environnementaux associés aux processus de recyclage, de stockage et de transport. Ces processus doivent représenter la totalité des processus qui ont eu lieu après l'état final des déchets du système de produit précédent. Comme il ne s'agit pas d'une méthode normalisée, il est important de bien documenter toutes

les hypothèses. Plusieurs normes permettent de fixer A1-A3 à zéro, et quelques normes recommandent un multiplicateur spécifique de 0,2 pour les composants réutilisés par rapport à un produit vierge équivalent (voir le tableau 5). Cela permet de tenir compte des impacts du tri, du nettoyage et de la préparation qui sont autrement difficiles à comptabiliser.

Les impacts de l'étape B dépendront de la disponibilité des données sur la performance relative et la durée de vie des matériaux recyclés et des composants réutilisés. Cela affectera les modules B4 étant donné le remplacement précoce potentiel des composants et B6 étant donné la réduction potentielle de l'efficacité thermique du bâtiment. Le tableau 5 fournit des informations supplémentaires sur la manière dont les différentes normes et lignes directrices calculent les impacts de la réutilisation et du recyclage dans l'ACV de l'ensemble du bâtiment.

### Comparaison avec un système de référence

Le bâtiment de référence utilisé à des fins de comparaison doit être identique au projet, mais construit avec des matériaux conventionnels. De plus, les matériaux utilisés dans le bâtiment de référence doivent refléter les pratiques actuelles. Par exemple, si les normes industrielles actuelles intègrent déjà 30 % de contenu recyclé dans un matériau spécifique, les avantages de l'utilisation de matériaux à contenu recyclé peuvent être appliqués au pourcentage qui dépasse les valeurs normalisées (c'est-à-dire 30 % dans ce cas). Cela vaut surtout pour les produits en acier de construction qui, au Canada, varient entre 20 % et 90 % de contenu recyclé selon le fabricant et le processus de fabrication de l'acier. La figure 4 compare les étapes entre le système de référence et le système de projet lors de l'utilisation des matériaux.

Selon le guide de l'ASCE, il ne faut pas prendre de crédits ACV pour la réutilisation d'éléments dans la conception proposée lorsque la norme de l'industrie ou la préférence de l'entrepreneur est de réutiliser les matériaux (p. ex. : coffrage de béton réutilisable, granulats de béton concassés utilisés comme agrégat sur le site). L'ACV de l'ensemble du bâtiment doit inclure ces pratiques dans le bâtiment de référence et dans la conception du projet.

Tableau 5. Normes et lignes directrices sur l'utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

Norme/ligne directrice	Description
<b>Normes et lignes directrices sur les impacts de la réutilisation et du recyclage dans le module A</b>	
Lignes directrices nationales	Les modules A1 à A3 des matériaux recyclés représentent tous les impacts au-delà des limites du système précédent – [6. 2] L'impact des produits recyclés du module A est l'ICV de tout traitement supplémentaire du matériau secondaire au-delà des limites du système (du système précédent) qui est nécessaire pour atteindre le point d'équivalence fonctionnelle substituée.
EN15804/EN 15978	Les modules A1 à A3 des matériaux recyclés représentent les impacts associés aux processus après l'état final des déchets. Les modules A1 à A3 des matériaux réutilisés sont nuls.
ISO 21930	Elle inclut les processus liés à la réutilisation et au recyclage dans le module A1. – ISO 21930 Section 7.1.7.2.2 : le module d'information de l'extraction et la production en amont couvre la réutilisation de produits ou de matériaux provenant d'un système de produits antérieur et le traitement des matières secondaires utilisées comme intrants pour la fabrication du produit, excluant les processus du traitement des déchets dans le système de produit précédent.
<b>Autres normes et lignes directrices</b>	
FutureBuilt Zero <sup>2</sup> (Norvège) Milieu Prestatie Gebouwen <sup>3</sup> (Pays-Bas)	Ces normes encouragent un calcul plus détaillé des impacts des matériaux réutilisés. Lorsque cela n'est pas possible, elles recommandent que les modules A1 à A3 pour les matériaux réutilisés soient fixés à 20 % d'un produit équivalent plutôt qu'à 0 %.
Norme du bâtiment à carbone zéro version 3 (Canada)	En ce qui concerne la réutilisation des matériaux de construction, l'ACV doit inclure uniquement des nouveaux matériaux.
RE2020 (France)	La réglementation fixe l'impact de la réutilisation des matériaux à 0 sur l'ensemble du cycle de vie du projet.

### Étude de cas | Béton recyclé pour des applications structurelles en Suisse<sup>4</sup>



#### Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

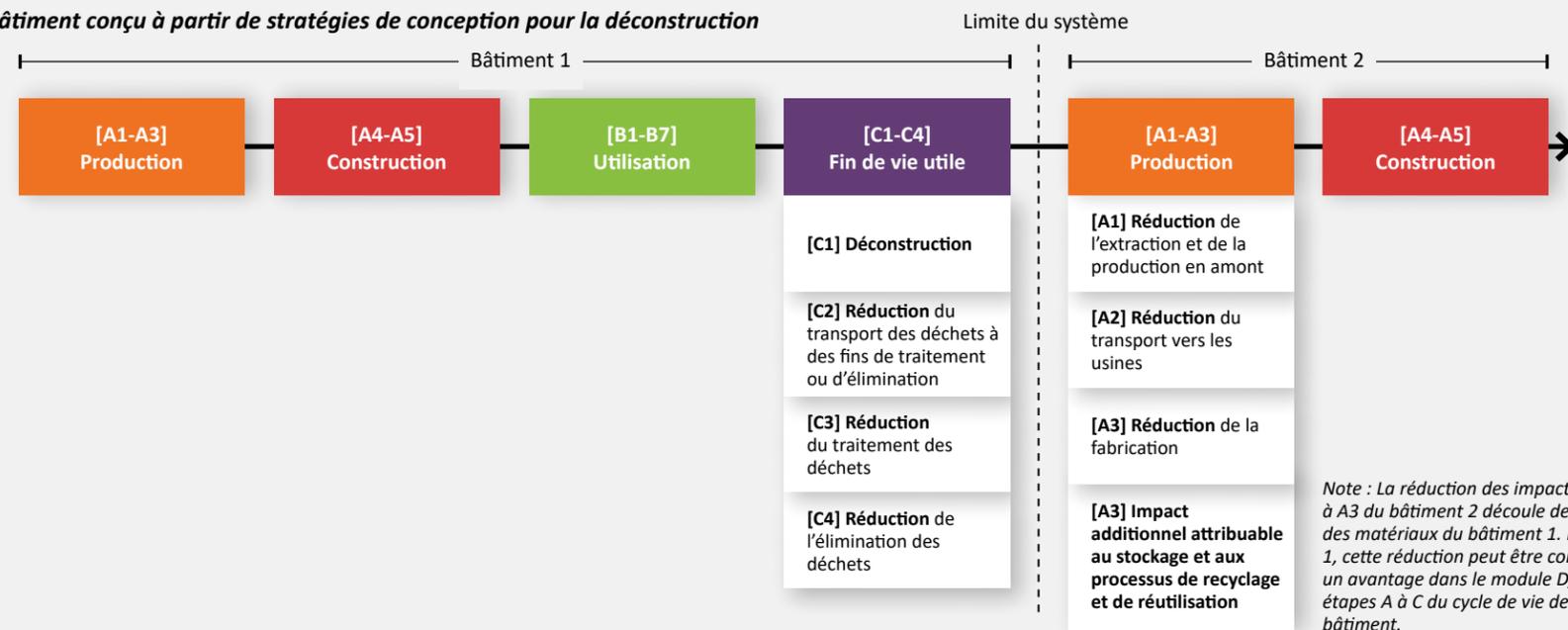
Une analyse de douze mélanges de béton recyclé a été réalisée et comparée à des équivalents de béton conventionnel. Composés de 25 % et 40 % de granulats recyclés, les mélanges ont été définis selon les lois et normes suisses pour des applications structurelles. Tous les processus depuis le démantèlement du bâtiment jusqu'au béton prêt à l'emploi sur le site de construction ont été inclus dans le système. Il s'agit notamment du concassage, du tri et du transport. L'analyse a révélé que le béton recyclé avait environ 30 % de moins d'impacts sur le cycle de vie par rapport aux impacts du béton conventionnel pour de nombreux indicateurs. Toutefois, en ce qui concerne le potentiel de réchauffement de la planète (PRP), les résultats de l'étude ne convergent pas tous vers une réduction de l'impact en raison de la teneur plus élevée en ciment lors de l'incorporation de granulats recyclés.

Figure 5 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la conception en vue de la déconstruction

**Système de référence : bâtiments conventionnels**



**Système de projet : bâtiment conçu à partir de stratégies de conception pour la déconstruction**



**Équation 2 | Impacts du cycle de vie du module C ( $C_{LCI}$ ) pour un taux de récupération donné (RR)**

$$C_{LCI} = E_D + (1 - RR) E_W + E_S$$

Pour une fraction de recyclage ou de réutilisation, ou un taux de valorisation (TR), l'étape C d'un bâtiment en cours de déconstruction est la somme des impacts des activités de déconstruction ( $E_D$ ) et des impacts de l'élimination des déchets pour les matériaux en cours d'élimination ( $E_W$ ). Il peut également y avoir des impacts supplémentaires liés au tri et au nettoyage des matériaux récupérés avant qu'ils n'atteignent l'état final des déchets ( $E_S$ ).

**Équation 3 | Avantages du module D ( $D_{LCI}$ ) pour les matériaux qui seront réutilisés ou recyclés**

$$D_{LCI} = (RR - R_C) \times (E_R - (E_V \times CF))$$

Les avantages dans le module D sont calculés comme ( $E_R - E_V$ ) ou comme la différence entre les impacts environnementaux des processus de recyclage ( $E_R$ ) et les impacts associés au traitement des matériaux primaires qui sont considérés comme substitués ( $E_V$ ). Cette valeur est généralement négative. **CF** représente un facteur de correction (le *ratio de qualité*) qui représente toute différence résiduelle d'équivalence fonctionnelle entre les matériaux réutilisés/recyclés et les matériaux vierges.

Le terme (**RR-R<sub>C</sub>**) où **RR** représente le taux de récupération en fin de vie et **R<sub>C</sub>** le contenu recyclé du matériau d'origine représente les flux de sortie nets des matériaux secondaires. Les lignes directrices nationales fournissent un bon exemple : si 98 % d'une poutre en acier ayant un contenu recyclé de 90 % est recyclé en fin de vie, le flux de sortie est de 0,08 kg par kg d'acier. Un crédit ne sera calculé que pour la différence de 8 %. De la même façon, si 100 % de la poutre va dans un site d'enfouissement, le flux est de -0,90 kg par kg d'acier et le module D sera considéré comme un fardeau net. La raison est que l'acier secondaire est retiré du marché et que cela peut être considéré comme un fardeau supplémentaire en dehors des limites du système.

**B1.2 Conception pour la déconstruction**

Les stratégies de conception pour la déconstruction visent à construire des bâtiments qui peuvent être facilement déconstruits afin de faciliter la réutilisation des matériaux et des composants. Les avantages de la réutilisation des matériaux dans des projets éventuels sont quantifiés de la même manière que les avantages qui découlent de l'utilisation de matériaux réutilisés et recyclés dans un projet de construction en cours (voir B1.1 *Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés*). La principale différence est que ces avantages dépendent de décisions et d'actions futures. Leur effet est donc pris en compte dans le module D, en dehors des limites du système, contrairement à l'étape A (figure 5). Les stratégies qui favorisent la déconstruction ont également des impacts secondaires sur l'impact du cycle de vie d'un bâtiment et doivent être prises en compte.

**Quelques exemples**

- Composants modulaires réutilisables
- Joints mécaniques plutôt que chimiques
- Systèmes de construction séparables
- Choix d'éviter les composites non recyclables
- Informations partagées entre les concepteurs, les entrepreneurs en déconstruction et les installateurs du bâtiment futur.

## L'influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

Concevoir pour la déconstruction aura des impacts sur toutes les étapes et tous les modules de l'ACV de l'ensemble du bâtiment. L'étape C sera affectée, car une augmentation de la proportion de matériaux réutilisés signifie un accroissement des impacts liés au traitement des déchets, tandis que le module D comptabilise les avantages de déplacer des matériaux primaires dans une construction éventuelle. Les étapes A et B peuvent également être affectées par des décisions de conception qui favorisent la construction modulaire et les systèmes de construction séparables. Cependant, ces impacts dépassent le cadre de ce chapitre.

Les avantages de la conception axée sur la déconstruction aux étapes C et D sont proportionnels au taux de récupération anticipé des matériaux (RR). Le taux de récupération des matériaux représente la proportion d'un matériau ou d'un groupe de matériaux qui est récupéré pour être réutilisé ou recyclé en fin de vie utile. La plupart des bâtiments présentent un certain potentiel de déconstruction et de réutilisation des matériaux à la fin de leur vie utile. Toutefois, les bâtiments conçus selon les principes de la conception pour la déconstruction ont un potentiel de récupération des matériaux nettement plus élevé. Le calcul de ce potentiel accru dépasse le cadre de ce rapport et dépend des stratégies de conception employées.

## Modélisation de la stratégie

La modélisation des avantages de la conception pour la déconstruction dans le module D requiert l'identification des matériaux et des composants ayant un potentiel de réutilisation/recyclage. Il est impossible de prédire quels matériaux actuels (non recyclables) seront recyclables à l'avenir. Toute hypothèse doit donc se baser sur des pratiques et des technologies existantes et non sur celles qui sont anticipées.

Une fois que les matériaux réutilisables ont été sélectionnés, il faut identifier les matériaux équivalents sur le plan fonctionnel qui seront remplacés lors de la construction de futurs projets. Dans certains cas, les matériaux réutilisés/recyclés remplaceront de nouveaux produits identiques, comme c'est le cas des briques

Tableau 6. Normes et lignes directrices sur la conception pour la déconstruction

Normes et lignes directrices	Description
Normes et lignes directrices sur le calcul du Module D	
Lignes directrices nationales	<p>La méthode de calcul est basée sur la norme ISO 21930.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [Ligne directrice 13.1] : « la méthode de calcul et de déclaration de tout renseignement supplémentaire facultative concernant les fardeaux ou les avantages potentiels au-delà des limites du système dans le module D doit être conforme à la norme ISO 21930:2017, articles 7.1.7.6 et 9.4.7. »</li> </ul>
EN 15804/EN 15978	<p>Les scénarios et les hypothèses utilisés pour calculer le module D doivent refléter la technologie courante et les pratiques actuelles.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [EN 159782, section 7.4.6] : « lorsqu'un flux de matières dépasse les limites du système et a une valeur économique ou a atteint le stade de la fin des déchets et se substitue à un autre produit, les impacts peuvent être calculés et doivent être basés sur la technologie existante moyenne, la pratique courante et les impacts nets. »</li> <li>– [EN 15804, section 6.3.4.6] : « le module D ne peut être calculé que sur la base d'un scénario spécifique qui est cohérent avec tout autre scénario de traitement des déchets et qui prend en compte la technologie ou la pratique moyenne actuelle. »</li> </ul> <p>Le document décrit la méthode de calcul du module D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [EN 15804+A2, section 6.4.3.3] : « procédure d'allocation pour la réutilisation, le recyclage et la récupération dans le module D; les impacts nets sont calculés comme suit : <ul style="list-style-type: none"> <li>– En additionnant tous les flux de sortie d'une matière ou d'un combustible secondaire et en soustrayant tous les flux d'entrée de cette matière ou de ce combustible secondaire de chaque sous-module d'abord (p. ex. : B1-B5, C1-C4, etc.), puis des modules (p. ex. : B, C) et enfin de l'ensemble du système de production, on obtient le flux de sortie net de la matière ou du combustible secondaire du système de production ;</li> <li>– En ajoutant les impacts des processus de recyclage ou de récupération au-delà des limites du système (après l'état final des déchets) jusqu'au point d'équivalence fonctionnelle où la matière ou l'énergie secondaire remplace la production primaire et en soustrayant les impacts de la substitution de la production du produit ou de la production d'énergie à partir de sources primaires ;</li> <li>– En appliquant un facteur de correction de la valeur justifié pour refléter la différence d'équivalence fonctionnelle lorsque le flux de sortie n'atteint pas l'équivalence fonctionnelle du processus de substitution. »</li> </ul> </li> </ul>
ISO 21930	<p>Les résultats du module D ne doivent pas être agrégés avec les étapes A à C, car le module D se situe en dehors des limites du système.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [ISO 21930, section 7.1.7.6] « le module D n'est pas une étape du cycle de vie comme les étapes du cycle de vie évaluées dans les modules d'information A1 à C4. Le module D se situe en dehors des limites du système de produits et du système de travaux de construction étudiés. Le module D n'est pas une méthode d'allocation et ne comptabilise pas les impacts qui sont attribués à d'autres systèmes de produits à la suite de processus de coproduction ou de récupération. Le module D fournit des informations supplémentaires facultatives sur les avantages nets potentiels de la réutilisation, du recyclage et de la récupération d'énergie au-delà des limites du système de produits étudié. »</li> </ul> <p>Elle décrit la méthode de calcul du module D.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– [ISO 21930, section 7.1.2.6] : « les charges et avantages environnementaux potentiels du flux de sortie net sont calculés en : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Identifiant le point d'équivalence fonctionnelle substituée où la matière ou le combustible secondaire ou l'énergie récupérée remplace la production primaire ;</li> <li>– Ajoutant les charges associées à tout traitement supplémentaire au-delà des limites du système pour atteindre le point d'équivalence fonctionnelle substituée ;</li> <li>– Soustrayant les impacts de la production substituée du produit ou de la génération de l'énergie ;</li> <li>– Appliquant un facteur de correction justifié pour refléter la différence d'équivalence fonctionnelle lorsque le flux de sortie net traité n'atteint pas l'équivalence fonctionnelle du processus de substitution. »</li> </ul> </li> </ul>

réutilisées ou de l'acier recyclé qui ont des caractéristiques de performance identiques aux produits équivalents plus récents. Toutefois, dans bien des cas, un certain degré de décyclage est attendu en raison de la dégradation des matériaux. Il convient alors d'émettre des hypothèses sur les produits qui seront remplacés.

Dans le cadre de la méthode d'allocation 100/0, la différence entre les impacts anticipés du cycle de vie des matériaux vierges substitués et les processus de recyclage anticipés nécessaires pour amener les matériaux secondaires à l'équivalence fonctionnelle représente l'avantage du cycle de vie à comptabiliser dans le module D.

Toute différence résiduelle dans l'équivalence fonctionnelle entre les matériaux réutilisés/recyclés et les matériaux qu'ils remplacent est traitée par un facteur de correction qui est défini par la norme EN 15804 comme le rapport de qualité entre le matériau récupéré sortant et le matériau vierge substitué. Bien qu'il n'y ait pas de méthode prescrite pour calculer ce ratio, la plus courante est le rapport de prix entre le matériau secondaire et le matériau primaire, qui dépend intrinsèquement de l'existence d'un marché pour ces matériaux. D'autres approches consistent à comparer la masse ou d'autres caractéristiques physiques plutôt que le prix. Il faut noter que la norme EN 15978 spécifie que tout calcul ou crédit de recyclage doit être basé sur les impacts nets. Pour les calculer, il convient de soustraire les intrants de matériaux secondaires des extrants de matériaux secondaires. En d'autres termes, un projet ne bénéficiera de la modélisation du module D que s'il crée plus de matériaux recyclables qu'il n'en consomme (voir l'exemple de l'équation 3).

### Comparaison avec un système de référence

Le bâtiment de référence pour un projet conçu en vue de la déconstruction doit supposer des taux standards de contenu secondaire pour les entrées de matériaux (pendant la construction) et les sorties (à la fin de la durée de vie). Ces deux valeurs sont nécessaires pour calculer un flux net de matériaux secondaires représentatif de la pratique actuelle sans conception axée sur la déconstruction. Même si les flux de sortie auront lieu à l'avenir, ils ne doivent se baser que sur des pratiques et

des technologies actuelles. Par exemple, si la pratique industrielle actuelle veut que les entrées d'acier soient composées de 90 % de matériaux recyclés et que 98 % des sorties d'acier soient recyclées (voir l'équation 3), le calcul du bâtiment de référence devra considérer ces taux.

Puisque le module D est calculé à la fois pour le projet et les bâtiments de référence, les avantages de la conception pour la déconstruction représentent la différence engendrée par une augmentation des sorties nettes de matériaux secondaires. La figure 5 compare les étapes entre le système de référence et le système de projet pour la conception en vue de la déconstruction.

D'après le guide de l'ASCE, les facteurs d'impact de l'ACV tenant compte de la réutilisation ne peuvent être appliqués qu'aux composants conçus pour la déconstruction afin de permettre la réutilisation. Pour les autres éléments structurels, les facteurs d'impact de l'ACV doivent être équivalents à ceux utilisés pour le bâtiment de référence.

Toujours selon le guide, lors de la démonstration de la conception pour la déconstruction, les conceptions de référence doivent être équivalentes au bâtiment proposé, sauf pour les composants spécifiquement conçus pour permettre la déconstruction en vue d'une réutilisation à la fin de la durée de vie utile du bâtiment. Le système structurel du bâtiment de référence doit conserver la même équivalence fonctionnelle dans tous les autres aspects. Il doit également être constitué d'un matériau similaire à celui du bâtiment proposé.

### Étude de cas | Immeuble de bureaux en béton en Italie<sup>1</sup>



#### Conception axée sur la déconstruction

Construit en 2017, l'immeuble a été conçu pour accueillir 265 postes de travail sur quatre étages, avec une durée de vie estimée de 60 ans. Le bâtiment est doté d'une structure en béton et a été conçu pour tirer parti de plusieurs innovations en matière de systèmes de chauffage et de refroidissement actifs et passifs. Les impacts anticipés du cycle de vie sont dominés par le module B6 (consommation d'énergie opérationnelle) qui représente 60 à 80 % des impacts globaux en fonction de l'indicateur environnemental (~70 % du PRP). En supposant que l'acier soit recyclé en fin de vie à un taux de 70 % (barres d'armature) et de 90 % (profilés) et que le béton soit recyclé en aval sous forme de granulats pour les chaussées, les avantages du module D sont équivalents à -10 à -15 % des fardeaux globaux du module A, ou à environ -2 à 3 % des fardeaux globaux du cycle de vie pour l'ensemble du bâtiment. Une analyse réalisée par les mêmes auteurs sur un immeuble de bureaux similaire en Australie avec une structure en acier et des dalles en matériaux composites indique que les avantages du module D pour le PRP sont équivalents à environ -17 % des fardeaux du module A pour le même bâtiment.

### Étude de cas | Réutilisation d'éléments porteurs dans un bâtiment à usage mixte en Suisse<sup>2</sup>



#### Conception pour la déconstruction

L'étude de cas porte sur la conception d'un *smart living lab* à Fribourg, en Suisse. Le bâtiment de quatre étages doit accueillir des chercheurs de plusieurs universités suisses et comprend des bureaux, des logements et des espaces expérimentaux. Il est conçu pour avoir un très faible impact environnemental et présente un système structurel composé de colonnes et de poutres en bois et de dalles en béton qui peuvent toutes être facilement démontées. La réutilisation future des éléments porteurs sur trois cycles d'utilisation consécutifs devrait permettre de réduire le potentiel de réchauffement global des trois projets de 39 % par rapport aux bâtiments construits avec des systèmes de construction plus traditionnels à partir de matériaux primaires. Les émissions très faibles prévues pendant l'étape de l'utilisation ont eu une incidence considérable sur les résultats.

### B1.3 Rénovation de bâtiments existants

Les rénovations sont essentielles pour augmenter la durée de vie des bâtiments existants et permettent d'éviter les impacts d'un nouveau cycle de démolition et de reconstruction. Cependant, il n'y a pas de lignes directrices pour la réalisation d'une ACV de l'ensemble d'un bâtiment rénové ou d'une ACV d'un processus de rénovation (bien que cela devrait changer puisque des normes européennes régissant les rénovations sont en cours d'élaboration). Cela s'explique par l'incertitude qui entoure la définition d'un système de rénovation, c'est-à-dire les matériaux et les processus à inclure ou à exclure de l'analyse. Dans la pratique, il existe deux approches pour réaliser des ACV de l'ensemble d'un bâtiment rénové et quatre approches pour réaliser des comparaisons avec un système de référence, tel qu'illustré à la figure 6.

Ce chapitre part du principe que l'alternative à une rénovation est un nouveau bâtiment plutôt que la conservation d'un bâtiment existant sans le rénover. Les termes remise à neuf, rénovation et réutilisation des bâtiments sont souvent utilisés de manière interchangeable. Dans ce rapport, *rénovation* sera utilisé pour désigner une grande catégorie de scénarios dans lesquels une proportion importante d'un bâtiment est transformée.

#### Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

Alors que les rénovations offrent des avantages significatifs en termes de cycle de vie par rapport au maintien en l'état d'un bâtiment existant<sup>1</sup>, ce chapitre compare l'impact de cette stratégie circulaire à celui d'un scénario de nouvelle construction. En moyenne, les rénovations ont un impact plus faible sur le cycle de vie que les nouvelles constructions. Toutefois, un examen des études de cas qui comparent la rénovation à la construction neuve indique que cela dépend de plusieurs facteurs et que les résultats peuvent varier considérablement<sup>2</sup>. Cette variation peut s'expliquer par le fait que les nouveaux bâtiments auront probablement des impacts plus faibles à l'étape de l'utilisation (étape B) que les bâtiments rénovés.

Il est important de noter que les bâtiments rénovés ne sont pas nécessairement synonymes de performances énergétiques inférieures à celles des nouvelles

constructions, comme c'est le cas pour les rénovations passives conformes à la certification EnerPHit. Cependant, en général, les nouveaux bâtiments peuvent mieux tirer parti des décisions de conception qui maximisent l'efficacité (p. ex. : l'orientation, la disposition spatiale, les systèmes passifs) ainsi que des technologies de construction plus avancées (p. ex. : les systèmes de chauffage intégrés, les systèmes de climatisation, CVCA, une meilleure étanchéité à l'air et vitrage). Pour qu'un bâtiment rénové ait un impact plus faible sur le cycle de vie qu'un bâtiment nouvellement construit, les économies résultant de l'évitement de la démolition et de la reconstruction doivent dépasser les économies potentielles découlant des gains en efficacité opérationnelle pendant la durée de vie du nouveau bâtiment. C'est ce que l'on appelle la période de récupération, et le fait que la période de récupération soit plus longue (en faveur de la rénovation) ou plus courte (en faveur de la construction neuve) que la durée de vie du nouveau bâtiment dépend de deux facteurs principaux.

1. **L'efficacité énergétique d'un bâtiment rénové par rapport à une nouvelle construction** : si un bâtiment rénové peut réaliser des gains d'efficacité énergétique équivalents ou presque équivalents à ceux d'un bâtiment neuf, les gains d'efficacité énergétique restants de la nouvelle construction ne seront pas suffisants pour justifier la démolition et la reconstruction. Cela dépendra de la nature et de l'ampleur de la rénovation.
2. **Le poids de l'étape d'utilisation par rapport aux impacts globaux du cycle de vie** : si une rénovation n'est pas en mesure d'approcher les gains d'efficacité énergétique d'une nouvelle construction, l'importance de l'étape d'utilisation par rapport aux autres impacts du cycle de vie devient un facteur décisif. Si la phase d'utilisation ne représente qu'une faible proportion des impacts globaux du cycle de vie, les gains d'efficacité énergétique découlant du choix d'un scénario de construction neuve plutôt que de rénovation ne compenseront pas l'impact de la construction neuve. Inversement, une étape d'utilisation plus importante augmentera les chances que la nouvelle construction ait des impacts plus faibles sur le cycle de vie.

#### Étude de cas | Rénovation d'une maison patrimoniale en Norvège<sup>4</sup>



##### Rénovation de bâtiments existants

Trois scénarios ont été évalués pour une structure en bois non isolée datant de 1936 : aucune rénovation et nouvelle construction. La maison représente un type de bâtiment courant des années 1920 et 30 et, jusqu'à ce qu'elle soit rénovée en 2014, elle était chauffée par une chaudière à mazout et des radiateurs électriques qui ont été remplacés par un poêle à bois et une thermopompe. Les résultats de l'analyse ont montré que la rénovation entraînerait une réduction des émissions de GES de 67 % sur 60 ans par rapport à aucune rénovation. Bien que certains matériaux aient été consommés au cours de la rénovation, ils ont été éclipsés par une réduction de 70 % des émissions attribuables à la consommation d'énergie. Le scénario de la nouvelle construction devait entraîner une réduction supplémentaire de 40 % des émissions liées à consommation d'énergie, bien que la grande quantité d'émissions associées à la nouvelle construction ait dicté une période de récupération de 52 ans. Cela signifie qu'il faudrait 52 ans de réduction des émissions en phase d'utilisation pour que le scénario de la nouvelle construction ait des émissions de cycle de vie inférieures à celles du scénario de rénovation. Sur la période de référence de 60 ans, il a été démontré que les nouvelles constructions entraînaient 8 % d'émissions de cycle de vie en moins que le scénario de remise à neuf.

#### Étude de cas | Rénovation d'un immeuble résidentiel danois datant des années 1970 selon plusieurs normes scandinaves<sup>5</sup>

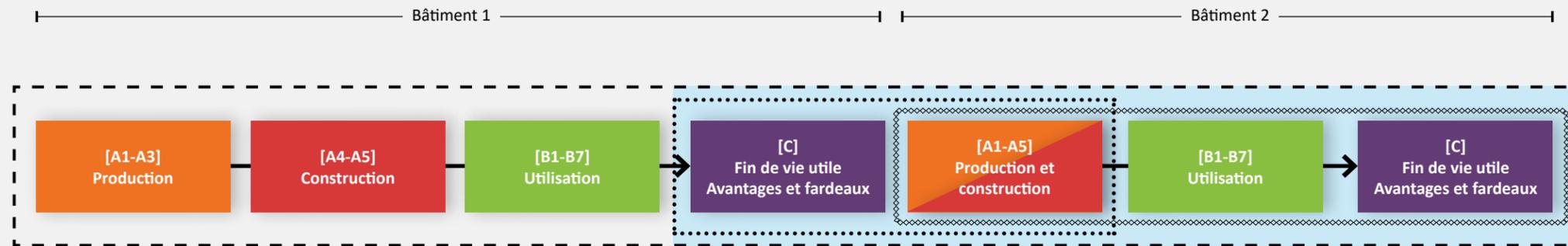


##### Rénovation de bâtiments existants

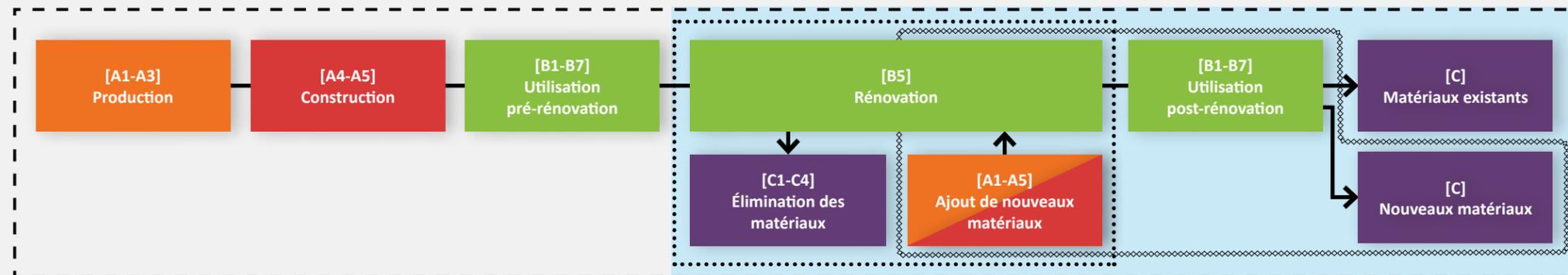
Un immeuble résidentiel de quatre étages est représentatif des immeubles multifamiliaux au Danemark, en Suède et en Finlande. La structure du bâtiment est constituée d'éléments préfabriqués en béton et est chauffée par du chauffage urbain. Le bâtiment a été rénové pour en améliorer l'efficacité énergétique, éliminer l'amiante et agrandir les balcons. La rénovation a été comparée à un scénario démolition avec construction neuve basé sur un échantillon représentatif des projets entrepris dans les trois pays. Bien que les trois pays suivent les normes européennes (EN), ils adoptent des approches différentes pour calculer les impacts du cycle de vie des activités de la rénovation et du bâtiment de référence. L'approche suédoise de l'ACV a abouti à une réduction de 68 % des émissions de GES par rapport au scénario de la construction neuve sur une période de 50 ans. L'approche finlandaise a permis une réduction de 32 % par rapport à la construction neuve et l'approche danoise une réduction de 10 %. Il faut noter que les points de départ et d'arrivée n'étaient pas les mêmes dans les trois pays, ce qui a un impact les résultats et leur portée.

Figure 6 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la rénovation de bâtiments existants

**Système de référence : nouveau bâtiment sur le même site**



**Système de projet : bâtiment en cours de rénovation**



Quatre approches pour comparer les scénarios de rénovation et de construction neuve

<b>Référence</b>	<b>Système de projet</b>
- - - -	- Durée de vie totale de la structure rénovée
■	- Activités de démolition et de rénovation partielles
□	- Occupation et démolition du bâtiment rénové
◇◇◇◇◇◇	- Cycle de vie des nouveaux composants
●●●●●●	- Activités de démolition et de rénovation partielles

Le poids de l'étape d'utilisation dépend de trois facteurs :

- a. La durée de vie prévue : une durée de vie plus longue augmentera le poids de l'étape d'utilisation, ce qui favorisera une nouvelle construction.
- b. La source de l'énergie consommée : des sources d'énergie plus propres diminuent le poids de l'étape d'utilisation, ce qui favorise les rénovations.
- c. La quantité d'énergie consommée : une consommation d'énergie plus faible diminuera le poids de l'étape d'utilisation, ce qui favorisera les rénovations.

### Modélisation de la stratégie

Il existe quatre méthodes pour réaliser une ACV dans le cadre d'un projet de rénovation. Elles ont été compilées à partir d'études de cas et de recherches et dépendent de la manière dont les limites du système sont tracées, comme le montre la figure 6. Bien que les normes ISO 21930 et EN 15978 ne donnent pas d'indications sur les façons de modéliser les rénovations, la norme EN 15978 précise que la rénovation d'un bâtiment doit être comptabilisée dans le module B5 du bâtiment d'origine à l'appui de la méthode 1).

Cependant, les chercheur.euses et les praticien.iennes<sup>3</sup> affirment que, dans la pratique, une rénovation peut aussi être le début d'un nouveau cycle de vie. Cela est en fait compatible avec la norme EN 15978 qui stipule que si une rénovation n'a pas été incorporée dans l'évaluation initiale du cycle de vie de l'ensemble du bâtiment, une nouvelle évaluation doit être effectuée. Cette approche est cohérente avec la méthode 2). Les méthodes 1) et 2) considèrent l'ensemble du bâtiment comme un système. En revanche, les méthodes 3) et 4) se concentrent sur le processus de rénovation et sur le cycle de vie des nouveaux composants introduits. Dans ces deux cas, les systèmes définis ne couvrent pas le cycle de vie de l'ensemble d'un bâtiment et ne sont donc pas considérés comme des ACV de l'ensemble du bâtiment complètes. Toutefois, ces deux ACV des processus demeurent utiles à des fins de comparaison lors de l'évaluation du sous-ensemble d'un système.

La section qui suit porte sur la définition du système de cycle de vie pour chaque approche et d'un système de référence correspondant.

#### 1. La rénovation comme le point milieu d'un système existant

**Scénario de référence : deux bâtiments sur le même site**

Cette approche est cohérente avec à l'intention initiale de la norme EN 15978 qui stipule que tous les fardeaux associés à la rénovation doivent être déclarés dans le module B5 du bâtiment existant. Pour cette méthode, l'ACV de l'ensemble du bâtiment couvre tout le cycle de vie du bâtiment existant, et le bâtiment de référence doit donc inclure la construction et la déconstruction complètes de deux bâtiments : le bâtiment existant et un nouveau bâtiment construit sur le même site. Bien qu'il s'agisse de l'approche la plus complète et la plus simple à définir, les bâtiments faisant l'objet de rénovations sont souvent très anciens et ne disposent pas des données de qualité requises pour réaliser une ACV de l'ensemble du bâtiment précis du système d'origine. Cette approche n'est recommandée que si l'on souhaite réaliser une ACV de l'ensemble du bâtiment de la structure d'origine et si l'on dispose de données suffisantes et assez précises.

#### 2. La rénovation comme point de départ d'un nouveau système de construction

**Scénario de référence : démolition complète du bâtiment existant et nouveau bâtiment**

Cette méthode part du principe que la structure existante ressemble à un élément réutilisé dans un système de nouvelle construction. Elle compare le nouveau système (le bâtiment rénové) à la construction d'un nouveau bâtiment sur le même site, tout en tenant compte des économies potentielles découlant de la démolition évitée du bâtiment existant. Les limites du nouveau système comprennent toutes les activités depuis la démolition partielle du bâtiment existant jusqu'à la fin de vie du bâtiment rénové, tandis que les limites du système de référence comprennent toutes les activités depuis la démolition complète du bâtiment existant jusqu'à la fin de vie d'un nouveau bâtiment fictif.

#### 3. La rénovation en tant que nouveaux composants dans un bâtiment existant

**Scénario de référence : nouveau bâtiment**

Dans cette troisième approche, seuls les composants ajoutés lors de la rénovation font partie du nouveau système à l'étude, et tous les composants du bâtiment existant sont toujours considérés comme faisant partie de leur système de construction d'origine. La comparaison

### Étude de cas | Impacts de l'ACV de quatre types de rénovations dans un immeuble résidentiel suédois<sup>6</sup>



#### Rénovation de bâtiments existants

Un immeuble résidentiel de trois étages et 36 appartements datant de 1971 a servi d'étude de cas pour comparer quatre approches de rénovation. Ces approches étaient différentes dans leur degré d'intensité matérielle, avec des combinaisons de modifications à l'enveloppe du bâtiment et aux systèmes de chauffage. L'analyse se limite aux impacts sur l'ensemble du cycle de vie des rénovations elles-mêmes par rapport au bâtiment existant. Tous les scénarios présentaient des impacts supplémentaires sur le cycle de vie des composants introduits lors des rénovations qui ont été compensés par des réductions de la consommation d'énergie au cours de la période d'étude de 50 ans. Une rénovation combinant des modifications à l'enveloppe et au système de chauffage a entraîné la plus forte réduction des impacts sur le cycle de vie (-19 %), suivie par des modifications au système de chauffage uniquement (-16 %) et des modifications à l'enveloppe uniquement (-6 %).

se limite à ces nouveaux composants par rapport à la construction d'un nouveau bâtiment. Dans ce cas, la démolition partielle de la structure existante n'est pas comptabilisée, pas plus que l'impact de la démolition des matériaux provenant du bâtiment existant. C'est l'approche brièvement mentionnée dans le guide de l'ASCE : dans les cas où le projet implique la réutilisation d'un bâtiment existant, l'ACV de l'ensemble du bâtiment ne devrait inclure que les éléments nouvellement apportés sur le site, plus les fardeaux liés aux réparations et à la démolition sur le site.

#### 4. Activités de rénovation

**Scénario de référence : démolition et reconstruction**

Cette approche est la plus simple des quatre et peut être appropriée si la rénovation n'entraîne que des changements minimes au bâtiment. La comparaison

est limitée aux impacts des activités de rénovation par rapport à l'impact d'un cycle de démolition et de reconstruction. Cette approche suppose que les impacts de la phase d'utilisation du bâtiment rénové sont comparables aux impacts de la phase d'utilisation d'un nouveau bâtiment. Il s'agit d'une méthode utile pour comparer une démolition partielle et une démolition complète sans l'effort nécessaire pour prendre en compte les impacts au-delà des activités de rénovation. Comme indiqué, cette approche est une ACV de processus qui ne comptabilise pas toutes les étapes et tous les modules.

#### Comparaison avec un système de référence How to perform a comparison with a reference system

Le contenu de cette section a été exploré dans la section précédente. La figure 6 compare les étapes d'un système de référence et d'un système de projet de rénovation.

## B2. Stratégies qui visent à accroître l'utilisation des bâtiments

Cette section couvre les stratégies circulaires :

### B2.1 Conception pour la longévité

### B2.2 Conception pour l'intensification des usages

Une autre approche pour réduire les impacts des nouvelles constructions consiste à éviter le besoin de nouvelles constructions en maximisant l'utilisation des bâtiments construits.

Cette section porte sur deux stratégies pour accroître l'utilisation des bâtiments : une stratégie temporelle pour prolonger la durée de vie des bâtiments et une stratégie spatiale qui augmente la densité et le nombre d'activités dans l'espace. Les ACV de l'ensemble des bâtiments conçus à ces fins doivent être menées comme d'habitude, conformément aux normes et lignes directrices existantes. Cependant, la quantification des avantages globaux de l'utilisation accrue des bâtiments nécessite une approche différente, car ils existent en dehors de limites des systèmes des bâtiments.

Pour ce faire, il faut comparer le projet à un scénario de référence de statu quo (*business as usual*) qui n'est pas directement équivalent sur le plan fonctionnel.

Tel indiqué dans la section A de ce rapport, le guide de l'ASCE ne fait aucune différence fonctionnelle entre le projet et son bâtiment de référence. La seule exception concerne les changements apportés aux systèmes structuraux, car ces modifications demeurent cohérentes avec l'objectif de l'ACV. De plus, le guide suppose que l'unité de comparaison est le bâtiment entier. Bien que l'approche décrite dans le guide de l'ASCE soit détaillée et complète, elle ne permet pas à une ACV de l'ensemble du bâtiment de saisir les avantages d'une durée de vie accrue ou d'une augmentation de la densité des activités. Ces avantages peuvent néanmoins être calculés à l'aide de l'approche de normalisation couramment utilisée par les praticien.iennes pour comparer différentes études de cas sans liens entre elles. L'approche consiste à remplacer l'unité de comparaison, ou unité fonctionnelle, de l'ensemble du bâtiment sur toute sa durée de vie avec

une autre unité, telle que l'impact par an d'occupation ou l'impact par unité d'activité. Le concept d'unité fonctionnelle est défini dans la norme ISO 14040/44, qui précise que l'unité fonctionnelle doit être cohérente avec l'objectif et le champ d'application de l'étude. En effet, il est parfois avancé que la sélection d'une unité fonctionnelle alternative reste fidèle à l'intention du guide de l'ASCE, car elle maintient l'équivalence fonctionnelle entre le projet et les systèmes de référence (l'équivalence étant entre les unités fonctionnelles plutôt qu'entre les bâtiments eux-mêmes).



## B2.1 Conception pour la longévité

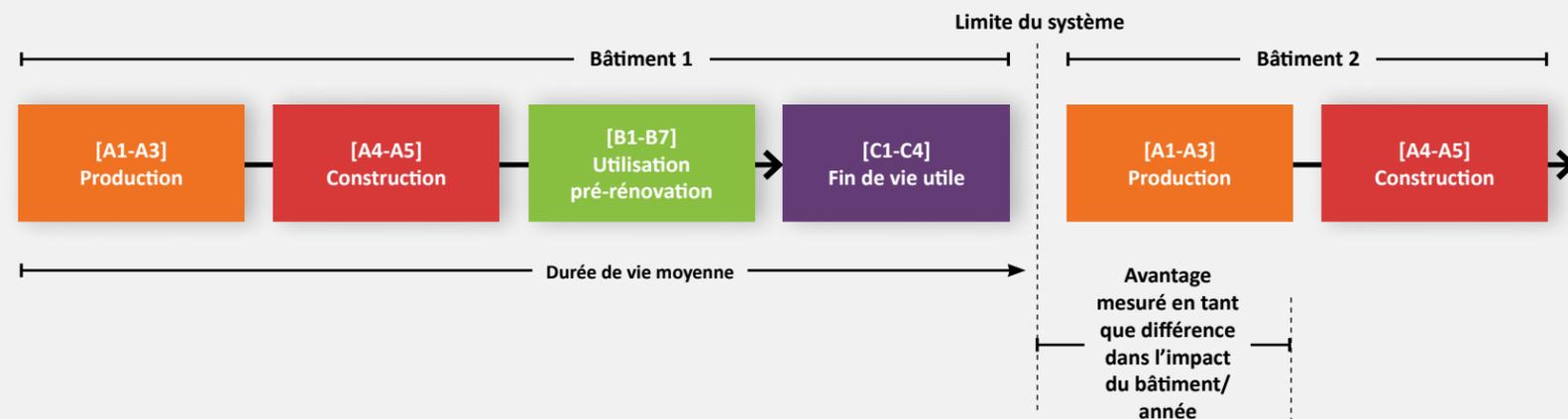
Comme dans le cas d'une rénovation, un bâtiment conçu pour une durée de vie plus longue permet d'éviter ou de remplacer une nouvelle construction qui interviendrait généralement après la fin de la durée de vie moyenne d'un bâtiment. Plusieurs décisions peuvent être prises lors de la conception et de la construction afin d'accroître la durée de vie prévue. Il s'agit de décisions de conception à petite échelle telles que l'utilisation de composants qui durent plus longtemps et de décisions plus importantes telles que la conception pour l'adaptabilité. Dans les deux cas, l'avantage du cycle de vie découle du prolongement de la durée de vie d'un bâtiment, comme l'illustre la figure 7. Ce chapitre explore ces deux approches. Il ne sera pas nécessaire pour les modélisateurs de l'ACV de l'ensemble du bâtiment de modifier leur approche pour l'évaluation, mais ils devront ajuster le bâtiment de référence ou utiliser une unité fonctionnelle différente pour la comparaison afin de prendre en compte les avantages circulaires. Ce rapport n'adresse pas la conception pour la résilience dans le cadre de la conception pour la longévité. Cela nécessiterait que le bâtiment de référence inclue le remplacement et les réparations dus aux dommages anticipés dans une conception conventionnelle, ce qui peut être en contradiction avec la sobriété matérielle.

### Quelques exemples

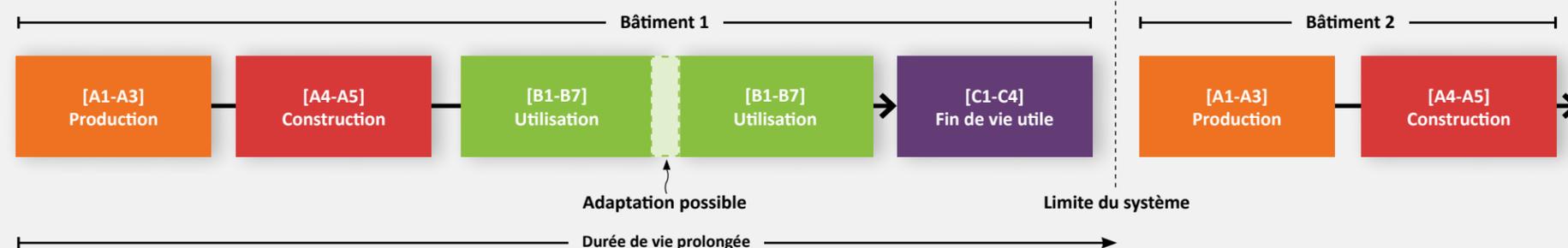
- Interventions à petite échelle :
  - Composants et matériaux plus durables
  - Composants standardisés pouvant être facilement remplacés
  - Maintenance préventive
- Conception pour la longévité :
  - Espaces multifonctionnels
  - Conception pour la réparabilité
  - Complexité réduite
  - Systèmes de construction séparés et facilement accessibles
  - Systèmes de construction modulaires
  - Cloisons non porteuses
  - Résilience climatique

Figure 7 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la conception pour la longévité

### Système de référence : bâtiments conventionnels



### Système de projet : bâtiment à durée de vie prolongée



## Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

De manière générale, la stratégie circulaire d'augmenter l'utilisation des bâtiments en prolongeant leur durée de vie n'affecte pas l'ACV de l'ensemble du bâtiment. La différence réside dans la manière dont le bâtiment de référence est défini et dont les résultats de l'ACV de l'ensemble de bâtiment sont rapportés.

### Modélisation de la stratégie

La stratégie circulaire d'utilisation accrue des bâtiments en prolongeant leur durée de vie n'affecte pas la manière dont l'ACV de l'ensemble du bâtiment est réalisée. Cependant, la présentation des résultats nécessite des unités fonctionnelles différentes pour une comparaison cohérente qui tient compte des avantages acquis. Une explication plus détaillée est donnée dans la section suivante. La section ci-dessous explique comment définir le système de cycle de vie pour chaque approche et un système de référence correspondant.

### Comparaison avec un système de référence

Il existe plusieurs approches pour comparer des bâtiments ou des systèmes dont les périodes d'étude diffèrent. Le guide de l'ASCE évite toute différence d'équivalence fonctionnelle grâce à une phase d'utilisation proportionnelle. Le guide précise que la période d'étude de référence doit être la même pour le bâtiment de référence et le bâtiment proposé. Si le bâtiment de référence a une durée de vie utile différente de celle du bâtiment proposé, les impacts de la phase d'utilisation du bâtiment de référence peuvent être calculés au prorata. Dans ce cas, le bâtiment de référence d'un projet conçu pour avoir une durée de vie plus longue de 50 % verra sa phase d'utilisation et les impacts correspondants de la phase d'utilisation augmenter de 50 %. L'inconvénient est que cette méthode n'apporte aucun avantage à un bâtiment construit pour la longévité par rapport à un bâtiment équivalent conçu pour une durée de vie moyenne dans un scénario de statu quo puisqu'elle présentera une durée de vie irréaliste sans aucune modification de la conception ou de la construction. Il existe toutefois des approches qui permettent de calculer les avantages liés à l'augmentation de la longévité d'un bâtiment :

#### 1. Sélection d'une unité fonctionnelle temporelle pour la comparaison (recommandé)

Pour cette approche, l'unité fonctionnelle est l'impact par année d'exploitation du bâtiment (exemple de PRP : kg d'éq. CO<sub>2</sub>/an). Étant donné que les impacts de la construction (étape A) et de la fin de vie (étape C) d'un bâtiment ayant une durée de vie prolongée sont répartis sur une période plus longue, l'impact annuel normalisé diminue. L'impact par année de fonctionnement est calculé en divisant l'ensemble des impacts du cycle de vie par la durée de vie du bâtiment. Le calcul doit être effectué pour le projet et pour le bâtiment de référence. La différence est exprimée en pourcentage.

#### 2. Définition du système de référence comme deux ou plusieurs bâtiments successifs

Cette approche est équivalente à la première approche dans *B1.3 Rénovation de bâtiments existants*. Ici, le système de référence est élargi afin d'inclure plusieurs bâtiments construits successivement sur le même site. Dans cette approche, l'unité de comparaison n'est pas le bâtiment lui-même, mais l'usage qui peut en être tiré sur une période spécifique. Cette approche est applicable lorsque la durée de vie anticipée du projet est plus de deux fois supérieure à la durée de vie moyenne d'un bâtiment de référence. La durée de vie moyenne d'un bâtiment est de 60 ou 75 ans, selon la norme et l'outil de l'ACV de l'ensemble de bâtiment. La conception des bâtiments suivants doit être identique à celle du bâtiment initial.

#### 3. Définition du système de référence comme une structure typique avec des impacts de réparation et de maintenance supplémentaires

Cette approche suppose qu'un bâtiment conçu avec une espérance de vie accrue est équivalent à un bâtiment typique, sauf que le bâtiment typique nécessiterait des impacts de réparation, de maintenance et de remplacement supplémentaires pour atteindre la même durée de vie (modules B2-B5). Cette approche est cohérente pour les projets conçus pour minimiser leurs impacts de maintenance et de réparation anticipés au fil du temps sans effectuer de changements ou de rénovations majeurs.

La figure 7 compare les étapes entre le système de référence et le système de projet pour la conception pour la longévité.

## Étude de cas | Effet de la longévité sur les impacts du cycle de vie de composants de bâtiments danois<sup>1</sup>



### Conception pour la longévité

Une étude a été menée pour sept catégories représentatives de composants de construction, notamment les murs extérieurs et intérieurs, les toits, les fenêtres et les fondations. L'étude a évalué l'avantage environnemental obtenu pour chaque catégorie de composants si la durée de vie du bâtiment est prolongée de 50 ans (durée de vie de référence moyenne pour un bâtiment) à 80 ans, 100 ans et 120 ans. Les impacts ont été évalués pour sept catégories d'impacts environnementaux et ont été mesurés en impact/an, ce qui signifie que pour des durées de vie de bâtiment plus longues, les impacts associés aux composants seraient répartis sur une plus longue période. Les résultats ont démontré que, par rapport à une durée de vie de 50 ans, une durée de vie de 80 ans réduirait les impacts/an de 29 %, une durée de vie de 100 ans de 38 % et une durée de vie de 120 ans de 44 %. C'était le cas pour tous les composants, à l'exception des fenêtres et des lanternes. Leur durée de vie étant inférieure à celle du bâtiment dans lequel ils étaient installés, il faudrait donc les remplacer.

## B2.2 Conception pour l'intensification des usages

La réduction de la demande de nouvelles constructions au-delà des limites du système peut se produire simultanément et pas seulement de manière séquentielle (voir B2.1 Conception pour la longévité). La conception d'espaces destinés à accueillir une activité accrue ou plusieurs activités différentes réduit la demande de construction supplémentaire. Dans la pratique, les avantages de cette stratégie circulaire se traduisent par une réduction de l'impact du cycle de vie par unité d'activité. Dans ce contexte, l'activité est une unité qui représente le nombre d'utilisateurs du bâtiment, le nombre d'unités résidentielles ou l'espace disponible pour une utilisation productive. Les modifications qui augmentent le nombre d'espaces partagés, le nombre d'unités résidentielles ou la surface de plancher utilisable tout en conservant une quantité fixe de matériaux de construction sont tous des exemples qui mènent à une intensification spatiale. Pour qu'une augmentation de la surface de plancher se traduise par un avantage en termes de cycle de vie, il faut maintenir la même intensité d'activité par unité de surface de plancher plutôt que d'augmenter la surface disponible par utilisateur.

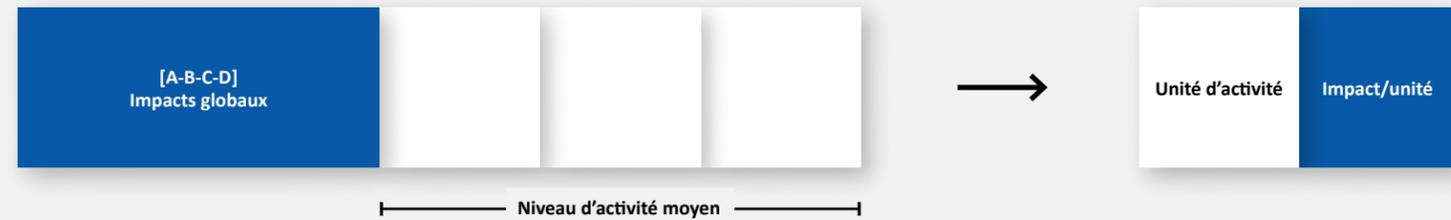
Comme pour B2.1 Conception pour la longévité, l'ACV pour l'ensemble du bâtiment est réalisée comme d'habitude, mais les avantages par rapport à un scénario statu quo sont calculés en ajustant le système de référence ou en utilisant une unité fonctionnelle différente pour la comparaison, comme le montre la figure 8. Comme les avantages de la construction déplacée se produisent en dehors des limites du système de construction, ils ne peuvent pas être pris en compte dans le module D d'une ACV de l'ensemble du bâtiment conventionnelle.

### Quelques exemples

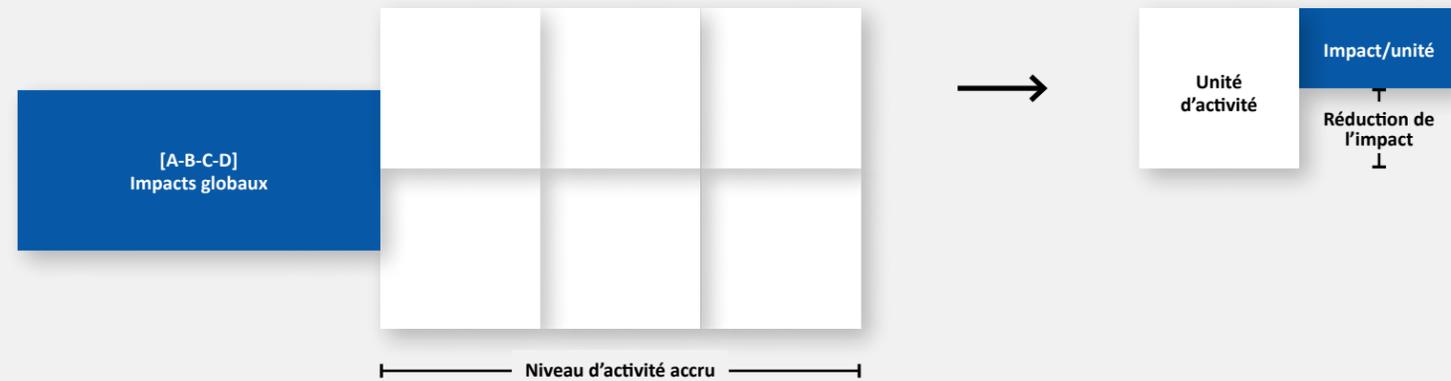
- Espaces multifonctionnels
- Regroupement de différents usages
- Modifications de l'espace qui maximisent la surface de plancher
- Cloisons autoportantes

Figure 8 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la Conception pour l'intensification des usages

#### Système de référence : bâtiments conventionnels



#### Système de projet : bâtiment à utilisation accrue



## Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

De façon générale, la stratégie circulaire d'intensification spatiale n'affecte pas l'ACV de l'ensemble du bâtiment. Les différences se situent au niveau de la définition du bâtiment de référence et de la communication des résultats de l'ACV de l'ensemble du bâtiment.

## Modélisation de la stratégie

La stratégie circulaire d'intensification spatiale en augmentant l'utilisation des bâtiments et de la densité spatiale n'affecte pas la façon dont l'ACV de l'ensemble du bâtiment est réalisée. Cependant, la présentation des résultats nécessitera des unités fonctionnelles différentes pour une comparaison qui tient compte des avantages accumulés. Une explication plus détaillée se trouve à la section suivante.

## Comparaison avec un système de référence

Comme pour *B2.1 Conception pour la longévité*, le guide de l'ASCE n'accepte que des différences mineures dans les critères de conception et aucune diminution des performances du bâtiment. Le guide précise que, lorsque possible, les valeurs associées à tous les critères de conception doivent correspondre. Pour que le bâtiment proposé soit considéré comme équivalent sur le plan fonctionnel au bâtiment de référence, il doit satisfaire ou dépasser les normes minimales de performance du bâtiment de référence. Le bâtiment proposé peut présenter une performance améliorée par rapport au bâtiment de référence pour autant que l'ACV de l'ensemble du bâtiment inclue les impacts du cycle de vie des matériaux utilisés pour atteindre cette performance améliorée. Toutefois, le bâtiment proposé ne doit pas avoir une performance inférieure à celle du bâtiment de référence.

Toujours selon le guide de l'ASCE, la définition d'un système de référence pour un projet d'intensification, qui implique généralement des changements dans le programme de construction, ne représentera pas efficacement le scénario de statu quo. Le système de référence sera trop similaire au nouveau projet proposé. Si un système de référence est choisi pour bien représenter ce qui serait typiquement construit sur un site donné, il contreviendra aux recommandations du guide. Toute

comparaison entre un projet et des systèmes de référence qui diffèrent dans leurs programmes se situera donc en dehors du champ d'application du guide de l'ASCE.

Les deux approches ci-dessous décrivent les méthodes employées pour comparer un projet à un scénario de référence afin de quantifier les avantages de la stratégie d'intensification.

### 1. Normaliser les résultats à l'aide d'une unité fonctionnelle basée sur les activités (recommandé)

Comme pour *B2.1 Conception pour la longévité*, la sélection d'une unité fonctionnelle basée sur les activités, ou unité de normalisation, reflète le fait que les impacts du cycle de vie d'un projet sont répartis sur une plus grande quantité d'activités que le statu quo. Contrairement à *B2.1 Conception pour la longévité*, il existe plusieurs unités de comparaison possibles en fonction de la nature de la construction. Le calcul doit être effectué pour le projet et pour le bâtiment de référence. La différence est ensuite exprimée en pourcentage. Il faut noter que chaque unité d'activité peut être calculée de différentes façons : les mètres carrés peuvent correspondre à la surface brute de plancher, à la surface habitable brute ou à la surface de plancher chauffée<sup>1</sup>. Les études doivent être très cohérentes dans la manière dont l'unité fonctionnelle est définie dans les différents scénarios.

L'unité fonctionnelle choisie pour la normalisation peut également affecter les résultats d'une comparaison si les conceptions divergent au-delà d'un certain point. Dans le cas d'un bâtiment résidentiel, sélectionner l'impact par unité favorisera les bâtiments avec des unités plus petites et plus denses que les bâtiments avec des unités à plusieurs chambres, tandis que l'impact par surface favorisera les bâtiments avec des unités plus grandes et moins efficaces en termes d'espace<sup>2</sup>. Par exemple, lors de l'évaluation des impacts de l'étape B, certains impacts sont liés à l'espace physique (p. ex. : remplacements) et d'autres à l'utilisation des ressources (p. ex. : l'eau, l'énergie). Si le nombre de résidents est doublé pour la même conception, l'impact par résident de l'étape A est réduit de 50 %. Cependant, les impacts de l'étape B ne seront pas réduits de la même façon en raison de l'utilisation de l'énergie et de l'eau.

Tableau 7. Exemples de stratégies de conception et d'unités d'activité correspondantes

Stratégies de conception par type de bâtiment	Unité d'activité
Stratégies de conception qui augmentent le nombre d'unités dans un bâtiment résidentiel	<ul style="list-style-type: none"><li>– Impact par unité résidentielle</li><li>– Impact par chambre à coucher</li><li>– Impact par résident</li></ul>
Stratégies de conception qui augmentent l'occupation d'un bâtiment (résidentiel, commercial ou institutionnel)	<ul style="list-style-type: none"><li>– Impact par surface</li><li>– Surface extérieure brute : mesure de la surface de plancher incluant les murs et la structure</li><li>– Surface intérieure brute : mesure de la surface de plancher excluant les murs et la structure</li><li>– Surface de plancher brute : aires incluses et exclues définies dans les lignes directrices nationales</li><li>– Surface habitable brute : excluant les aires d'entretien et les aires inaccessibles</li><li>– Surface de plancher chauffée : pertinente lorsque les projets ont une grande composante de phase d'utilisation</li><li>– Surface locative : uniquement lorsque les projets ont une composante de phase d'utilisation importante</li><li>– Surface habitable brute : uniquement lorsque les projets ont une composante de phase d'utilisation importante.</li><li>– Impact par unité de volume (m<sup>3</sup>)</li><li>– Impact par occupant anticipé</li><li>– Nombre d'occupants en fonction du code du bâtiment/des exigences d'évacuation</li><li>– Nombre d'occupants en fonction des exigences de ventilation</li><li>– Équivalent temps plein</li></ul>

À noter : tous les éléments ci-dessus peuvent également être évalués sur une base annuelle : impact/aire/an, impact/occupant/an.

### 2. Comparer un bâtiment à usage mixte et un scénario dans lequel les usages sont séparés

Comme dans *B2.1 Conception pour la longévité*, le système de référence est élargi pour inclure plusieurs bâtiments. Cependant, dans ce cas, les bâtiments sont construits en parallèle. Il s'agit de représenter les nombreuses utilisations ou activités prévues pour le nouveau bâtiment à travers des bâtiments individuels si ces utilisations avaient normalement été hébergées séparément. Cette approche est mieux adaptée lorsque plusieurs utilisations différentes sont combinées en un seul projet.

La figure 8 compare les étapes entre le système de référence et le système de projet pour la Conception pour l'intensification des usages et l'importance de l'unité d'activité pour présenter les avantages potentiels.

### B3. Stratégies de réduction des impacts des matériaux

Cette dernière section couvre les stratégies circulaires :

#### B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux

#### B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique

Les décisions de conception visant à réduire les quantités de matériaux nécessaires et à influencer la sélection des matériaux peuvent réduire les impacts du cycle de vie de l'étape de production (A1-A3) avec des effets en aval dans d'autres étapes de l'ACV à l'intérieur des limites d'un système.

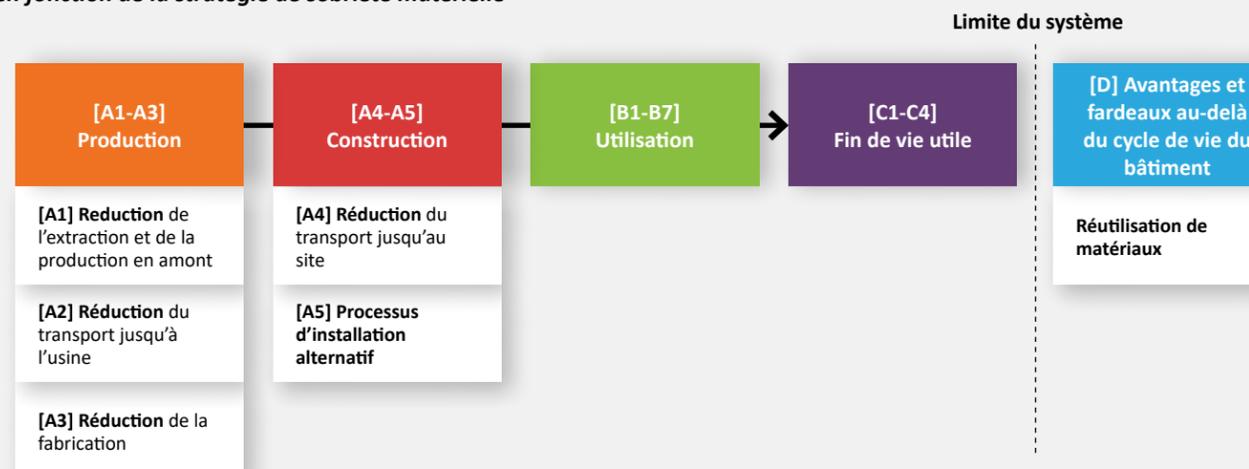
Cet objectif peut être atteint en sélectionnant des matériaux à faible teneur en carbone ou par la réduction globale des quantités de matériaux grâce à une conception allégée et efficace. Ces stratégies contribuent à réduire la demande de matériaux de construction primaires et encouragent l'utilisation de matériaux ayant moins d'impact. Enfin, les matériaux biosourcés tels que le bois d'ingénierie peuvent présenter des avantages en matière de stockage du carbone (ou carbone biogénique). Comme il s'agit d'un sujet controversé, ce rapport présente les considérations et les complexités de la comptabilisation du carbone biogénique. Les stratégies visant à réduire l'impact des matériaux peuvent entrer en conflit avec d'autres stratégies circulaires axées sur l'adaptabilité et la flexibilité. Ces dernières requièrent généralement un certain degré de surconception pour tenir compte d'une croissance future potentielle. Cet exemple montre que les stratégies circulaires ne fonctionnent pas toutes en synergie. Des tensions existent et certaines décisions de conception conduiront à des compromis. Il est donc essentiel d'évaluer les stratégies les unes par rapport aux autres et par rapport aux scénarios de statu quo. Dans le cas de la réduction des impacts des matériaux, les projets qui emploient des produits à base de matériaux conventionnels deviendront le système de référence pour la comparaison.

Figure 9 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la conception de la sobriété et de la sélection des matériaux

*Système de référence : bâtiments conventionnels*



*Système de projet : bâtiment conçu en fonction de la stratégie de sobriété matérielle*



### B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux

La sobriété matérielle fait référence à la réduction nette des quantités de matériaux, ce qui diminue les impacts du cycle de vie d'un bâtiment, comme le montre la figure 9. D'autre part, la sélection des matériaux fait référence au choix de matériaux, tels que ceux à faible teneur en carbone dont les impacts environnementaux sont inférieurs à ceux des matériaux de construction typiques ou du statu quo dans leur DEP. Les deux stratégies peuvent se chevaucher dans leur mise en œuvre. Par exemple, un système structurel léger construit avec des matériaux à haute résistance peut être considéré comme un exemple de sobriété matérielle (matériaux légers) et comme un exemple où le choix des matériaux est important (acier à haute résistance produit par des fours à arc). Elles sont combinées dans ce chapitre étant donné que les deux approches sont prises en compte dans les modules A1-A3, généralement avec le soutien des DEP, et qu'elles partagent la même méthode pour définir le système de référence.

#### Quelques exemples

Ces exemples de stratégies peuvent être considérés comme existants le long d'un spectre allant de la sélection des matériaux à la sobriété matérielle.

- Sélection des matériaux
  - Acier à faible teneur en carbone
  - Béton à faible teneur en carbone
  - Matériaux d'origine biologique
  - Bois de masse
  - Produits en bois d'ingénierie
- Sobriété matérielle
  - Réduction des redondances
  - Réduction des déchets grâce à la préfabrication, au plan d'aménagement et au cahier de charges
  - Réduction des dimensions des bâtiments grâce à l'optimisation
  - Réduction des constructions souterraines ou en hauteur
  - Structure en tant que finition
- Combinaison des deux
  - Matériaux plus résistants
  - Précontrainte par post-tension
  - Dalle creuse
  - Systèmes structurels avancés
  - Matériaux composites

### Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

La prise en compte de la sobriété et de la sélection des matériaux n'a pas d'incidence sur la méthodologie de l'ACV de l'ensemble de bâtiment définie par les normes et lignes directrices actuelles. Toutefois, les praticiennes doivent garder à l'esprit qu'il peut être plus difficile d'obtenir des DEP pour des produits moins conventionnels. De plus, certaines décisions en matière de conception (p. ex. : structure comme finition ou nouveaux matériaux composites) peuvent entraîner des impacts supplémentaires qui ne sont généralement pas pris en compte dans les scénarios de statu quo. Quelques exemples de tensions dans le cadre de ces stratégies sont présentés ci-dessous. Il est important de trouver un équilibre entre les avantages et les impacts d'un projet.

- **Finitions des matériaux** : pour répondre aux exigences en matière d'incendie, de durabilité et de vibrations, une structure exposée nécessite des finitions et des traitements spéciaux. L'ACV de l'ensemble du bâtiment doit inclure ces produits. Par exemple, les produits en bois d'ingénierie sont traités pour prévenir la détérioration et le bois exposé est protégé par des revêtements intumescents pour la protection contre le feu.
- **Matériaux à haute résistance** : les mélanges de béton à haute résistance et les produits en acier à haute résistance peuvent réduire la quantité nette de matériaux nécessaires, mais peuvent également avoir des impacts plus importants sur le cycle de vie que leurs produits équivalents dans un scénario de statu quo.
- **Composants avancés** : les systèmes de dalles de béton en précontrainte par post-tension, préfabriquées et creuses réduisent le volume global de béton utilisé. Cependant, ils nécessiteront d'autres méthodes d'assemblage et de construction qui doivent être prises en compte dans le module A5. Leur impact sur la production peut également différer de celui des produits standard.
- **Remplacement et réparation des composants** : les composants légers peuvent avoir une durée de vie inférieure à celle des composants classiques et nécessiteront donc des cycles de remplacement plus fréquents ou un entretien et des réparations plus importants. Ces impacts doivent être pris en compte.

La sobriété matérielle peut entrer en conflit avec la conception pour l'adaptabilité, qui est un sous-ensemble

### Étude de cas | Agrandissement d'une école au Québec grâce à la construction en bois massif<sup>1</sup>



#### Sobriété et sélection des matériaux

Le projet montréalais comprend deux étages de salles de classe et un gymnase pour un total de 2 425 m<sup>2</sup> de surface de plancher. La conception comprend des fondations en béton, un système structurel en bois léger, des composants en bois lamellé-collé et une toiture en bois préfabriquée. Une analyse réalisée à l'aide de l'outil Gestimat a montré que, par rapport à une conception de référence à structure en acier, le projet se caractérise par une réduction globale des émissions de GES incorporées d'environ 50 %.

### Étude de cas | Étude de matériaux de construction à faible teneur en carbone<sup>2</sup>



#### Sobriété et sélection des matériaux

Une étude a été menée sur les réductions des émissions de GES attendues de l'utilisation de matériaux de construction alternatifs. Le béton, par exemple, nécessite la production intermédiaire d'un clinker de ciment (essentiellement du calcaire et d'autres minéraux transformés par la chaleur) qui produit généralement d'importants volumes de CO<sub>2</sub> en raison du processus chimique et de la production de chaleur qu'il entraîne. D'autres méthodes de production du clinker peuvent réduire les émissions de 12 à 15 %, voire jusqu'à 40 % selon l'approche, bien que cela puisse mener à une perte de performance. Par ailleurs, l'utilisation de matériaux naturels tels que le bois, la terre, l'argile ou le chanvre peut donner lieu à d'importantes réductions des émissions de l'ordre de 60 à 90 % et peut présenter l'avantage supplémentaire de stocker le carbone biogénique. Les matériaux locaux réduisent de manière significative l'élément transport de l'empreinte environnementale du matériau proportionnellement à la réduction de la distance parcourue. Enfin, la sélection de matériaux à haute performance et l'optimisation de la conception peuvent réduire les besoins en matériaux, et donc les émissions de production, jusqu'à 30 %.

de la conception pour la longévité. La conception pour l'adaptabilité implique un certain degré de suringénierie afin que le système structurel puisse supporter des charges potentielles futures plus importantes que les exigences actuelles.

Cette approche contraste avec les approches axées sur la sobriété matérielle visant à réduire la quantité de matériaux qui ne sont pas utiles pour la fonction souhaitée en optimisant pleinement la structure pour un usage et un contexte spécifiques. Cela conduit à une conception plus efficace et peut se traduire par des espaces à usage mixte et le choix de composants plus légers. Il est possible de créer un bâtiment qui combine à la fois la conception pour la longévité et les stratégies de sobriété matérielle, notamment par la mise en œuvre de grands espaces à usage mixte. Cependant, dans la pratique, il y a souvent un compromis à faire entre les deux approches.

### Modélisation de la stratégie

Cette stratégie n'a pas d'impact sur la méthodologie de l'ACV de l'ensemble du bâtiment. La sobriété et la sélection des matériaux influencent principalement les résultats de l'étape A du cycle de vie. Le praticien doit être attentif à toute répercussion de la mise en œuvre de ces stratégies, tel qu'expliqué ci-dessus.

### Comparaison avec un système de référence

Le guide de l'ASCE présente des considérations spécifiques pour effectuer des comparaisons efficaces entre des projets et des systèmes de référence qui diffèrent par la quantité ou la sélection des matériaux. Ces considérations sont exposées dans les cinq chapitres du guide qui portent sur la réduction de la quantité de matériaux structurels, la structure comme finition, la réduction de la quantité de matériaux non structurels, la réduction de l'impact obtenu par l'utilisation de systèmes structurels alternatifs et la réduction des impacts des matériaux équivalents sur le plan fonctionnel. Les points suivants résument les recommandations du guide.

#### 1. Le système de référence doit représenter fidèlement la pratique industrielle standard.

Le guide de l'ASCE indique que : « l'utilisateur.trice

ne doit pas indiquer une réduction des quantités de matériaux pour les systèmes proposés lorsque la norme industrielle est un système plus efficace (p. ex. : si les dalles en béton précontraint par post-tension constituent la norme pour les constructions résidentielles à plusieurs étages, on ne peut pas utiliser une dalle en béton légèrement renforcé pour le bâtiment de référence et une dalle en béton précontraint par post-tension pour le bâtiment proposé). »

« La conception du bâtiment de référence doit prendre en compte les impacts de la norme industrielle pour le type de bâtiment en ce qui concerne l'enveloppe, les finitions et les systèmes MEP. »

#### 2. Le projet et son système de référence doivent être aussi équivalents que possible sur le plan fonctionnel. Toute divergence dans l'équivalence fonctionnelle ne peut être directement liée qu'à la différence d'utilisation des matériaux, des finitions ou du système structurel.

Le guide de l'ASCE stipule que : « il faut s'assurer que la programmation et la charge du bâtiment sont aussi équivalentes que possible à celles du bâtiment proposé. »

« Pour être considéré comme un bâtiment proposé acceptable avec des éléments structurels exposés, le bâtiment doit être équivalent sur le plan fonctionnel au bâtiment de référence avec des éléments structurels recouverts de finitions, lorsque l'application de ces finitions répond aux normes de l'industrie. »

« En démontrant la réduction des impacts environnementaux, souvent grâce à une conception intégrée, l'ACV de l'ensemble du bâtiment doit montrer que la conception du bâtiment de référence est équivalente à celle du bâtiment proposé, à l'exception des matériaux réduits de l'enveloppe, des finitions et/ou des systèmes MEP lorsque la structure assure certaines fonctions de ces systèmes. »

« Comme cette stratégie consiste à comparer des systèmes structurels alternatifs, il y aura des

différences significatives entre le système de référence et le système proposé. Toutefois, les deux systèmes doivent avoir des listes de matériels similaires ou améliorées par rapport aux références de l'industrie ou à d'autres données types. »

#### 3. Tous les impacts associés à de nouveaux matériaux ou à des produits moins conventionnels doivent être pris en compte.

Le guide de l'ASCE indique que :

« L'ACV de l'ensemble du bâtiment doit tenir compte de tous les impacts environnementaux accrus qui découlent de la fabrication d'un matériau plus résistant. »

« Dans bien des cas, une structure exposée nécessite un entretien supplémentaire par rapport à une structure couverte, bien que l'inverse puisse aussi être vrai. Quoi qu'il en soit, le modèle de l'ACV de l'ensemble du bâtiment doit prendre en compte les impacts de l'entretien ou du remplacement tout au long de la période d'étude de référence de l'ACV. »

« Si les matériaux ou systèmes alternatifs utilisés dans le bâtiment proposé ont une durée de vie plus courte que la durée de vie anticipée du bâtiment proposé, l'ACV de l'ensemble du bâtiment doit inclure les impacts liés à la réparation et/ou au remplacement de ces matériaux ou systèmes. »

La figure 9 compare les étapes d'un système de référence et d'un système de projet du point de vue de la sobriété et du choix des matériaux.

### B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique

Bien que le stockage du carbone biogénique ne soit pas directement lié aux stratégies d'économie circulaire, il s'agit d'un résultat secondaire important du passage des matériaux de construction conventionnels aux matériaux renouvelables biosourcés. Ce chapitre explorera donc les implications de l'inclusion du carbone biogénique dans une ACV de l'ensemble du bâtiment. Les matériaux biosourcés tels que le bois d'ingénierie peuvent non seulement présenter des impacts moindres sur le cycle de vie par rapport au béton et à l'acier standard de l'industrie (voir B3 Stratégies qui visent à réduire les impacts des matériaux), mais ils offrent également l'avantage de stocker le carbone de manière temporaire ou permanente dans la biomasse accumulée au cours du processus de croissance. Dans la nature, ce carbone biogénique est libéré lorsqu'une plante meurt et se décompose. Dans la construction, le carbone biogénique est généralement libéré à la fin de la vie utile du bâtiment par combustion ou transformation. Ces flux de carbone biogénique sont illustrés à la figure 10. Il existe plusieurs façons de comptabiliser le carbone biogénique dans une ACV de l'ensemble du bâtiment, mais il n'y a pas encore de consensus sur la meilleure façon de le déclarer. Différents outils comptabilisent et rapportent le carbone biogénique à différents stades du cycle de vie et dans différents modules, ce qui rend la comparaison des résultats entre les outils et les projets plus difficiles. Ce chapitre aborde les défis liés à l'incorporation du carbone biogénique dans les ACV de l'ensemble du bâtiment et l'approche recommandée.

#### Quelques exemples

- Constructions légères en bois de construction
- Produits en bois lamellé-croisé
- Bois lamellé-collé
- Bois de placage stratifié
- Paille et chanvre pour l'isolation

#### Influence de la stratégie sur les impacts du cycle de vie

Plusieurs facteurs compliquent l'évaluation des impacts du cycle de vie et des avantages du stockage du carbone biogénique.

- **Le stockage est essentiellement temporaire**  
Les produits à base de bois agissent comme des puits

de carbone temporaires et ne représentent pas une solution pour supprimer ou éviter les émissions de carbone. Elles offrent néanmoins un avantage en permettant de gagner du temps pour élaborer des mesures d'atténuation et éviter un pic précoce du réchauffement de la planète. La quantification des avantages découlant du déplacement temporel des émissions de GES est un domaine en évolution qui ne fait actuellement l'objet d'aucun consensus, ce qui constitue un problème lorsqu'il s'agit de mettre en place des pratiques cohérentes de l'ACV de l'ensemble du bâtiment.

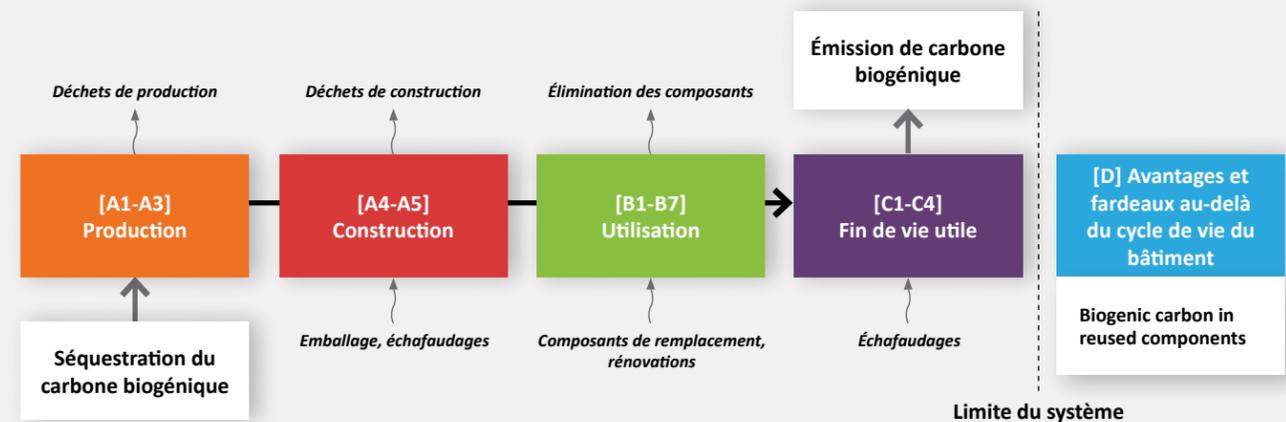
- **Les avantages dépendent des conditions de fin de vie utile**  
Même lorsqu'il est affirmé que le carbone biogénique peut être stocké de manière permanente, il est difficile d'évaluer quelle proportion est stockée et pour combien de temps. Ces déterminants dépendent de la méthode d'élimination en fin de vie utile (p. ex : combustion, décomposition, décharges anaérobiques ou aérobiques) et sont donc intrinsèquement incertains.
- **Les impacts sur l'utilisation des terres sont difficiles à quantifier**  
La coupe du bois a des impacts considérables sur l'utilisation des terres et le changement d'affectation des terres (UTCAT). Les impacts directs peuvent être atténués en exigeant du bois récolté de manière durable, mais il n'y a pas de méthode communément acceptée pour évaluer les impacts indirects.
- **Le bois récolté n'apportera peut-être pas d'avantages par rapport au maintien de la forêt naturelle**  
Le bois récolté n'apporte un avantage par rapport au maintien d'une couverture forestière naturelle que si la période de rotation des espèces de bois récoltées est plus courte que celle des variétés d'arbres naturels. La période de rotation représente le temps nécessaire aux arbres pour atteindre leur maturité. Les espèces à longue rotation prendront plus de temps pour absorber la même quantité de carbone que les espèces à courte rotation.
- **Le système de carbone biogénique est mal défini**  
Le carbone biogénique stocké dans les produits du bois n'est qu'un élément du système de carbone biogénique qui comprend également les racines et le sol. Ces éléments sont généralement considérés comme étant en dehors des limites de l'ACV du produit, mais il a été démontré qu'ils avaient un impact sur le PRP.

Figure 10 : Comparaison des systèmes de référence et de projet pour la comptabilisation du stockage de carbone biogénique

#### Système de référence : bâtiments conventionnels



#### Système de projet : bâtiment utilisant des produits qui agissent comme des puits de carbone



Exemples de flux secondaires de carbone biogénique

En raison de ces facteurs, il existe des divergences importantes dans les approches pour inclure le carbone biogénique adoptées par les différentes normes et lignes directrices. Il est important de comprendre pourquoi les analyses effectuées dans des contextes différents peuvent se fier à des hypothèses et/ou des méthodologies différentes. Les normes régissant les calculs du carbone biogénique et leurs différentes approches sont donc présentées dans l'annexe.

### Modélisation de la stratégie

Bien qu'il n'y ait pas de consensus entre les normes existantes, l'approche suivante est recommandée. Les lignes directrices nationales sont basées sur la norme ISO 21930 et, bien qu'elles constituent un bon point de départ, elles doivent être complétées par les normes ISO 14067, EN 15804 et EN 16485. Les lignes directrices Athena IE4B constituent un exemple utile de synthèse de plusieurs lignes directrices puisqu'elles combinent des éléments de PAS 2050, d'ISO 14067 et du WRI GHG Protocol for Products.

Les entrées et sorties de carbone biogénique doivent être documentées dans chaque module, comme le recommandent les lignes directrices nationales. Par exemple, le retrait du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère doit être comptabilisé dans le module A1 et son retour dans l'atmosphère doit être indiqué dans les modules A3-A5 (si présent dans les déchets de construction), B (si éliminé/remplacé dans le cadre de l'entretien en phase d'utilisation) et C (si maintenu jusqu'à la fin de vie utile). Le flux net de CO<sub>2</sub> devrait être nul, sauf si le carbone a été converti en méthane dans un processus de combustion. Bien que cela ne soit pas mentionné dans les lignes directrices nationales, ces flux doivent être documentés séparément de tous les autres flux de carbone incorporé. La norme EN 15804 précise comment appliquer à chaque module les exigences de la norme ISO 14067 relatives à la séparation du carbone biogénique.

Bien que certaines normes (p. ex. : Athena IE4B) prévoient la possibilité d'un stockage permanent, cette pratique est déconseillée. Toutefois, les normes ISO 14067 et EN 16485 permettent l'octroi de crédits pour le stockage temporaire, également connu sous le nom d'émissions retardées. Ces avantages doivent être calculés sur la base des méthodologies décrites dans PAS

2050 (2011) ou Ciais et al. (2014) et rapportés en tant qu'informations supplémentaires dans le module D. Enfin, les modélisateur.trices doivent respecter les exigences des lignes directrices nationales concernant l'origine des produits du bois provenant de forêts gérées de façon durable. Toutefois, il convient également de suivre la méthodologie de Ciais et al.(2014) afin de déterminer les impacts plus larges des changements d'affectation des terres, comme indiqué dans les normes ISO 14067 et EN 16485.

Ce qui précède représente un très large aperçu de la manière dont les différentes normes et lignes directrices interagissent. Une comparaison plus complète de la façon dont les différentes lignes directrices de l'ACV abordent le carbone biogénique se trouve en annexe. Des ressources supplémentaires sont incluses dans ce chapitre.

### Comparaison avec un système de référence

La définition du bâtiment de référence doit inclure les mêmes considérations que celles décrites dans *B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux*. La figure 10 compare les étapes du système de référence et du système de projet lors de la prise en compte du carbone biogénique.

### Équation 4 | Calcul du CO<sub>2</sub> stocké dans un produit en bois de densité $\rho$ et de volume $V$

$$\text{Biogenic Carbon (kgCO}_2\text{)} = 44/12 \times cf \times (\rho \times V) / (1 + \omega/100)$$

Où  $\rho$  représente la densité du produit en bois en kg/m<sup>3</sup>,  $V$  représente le volume en m<sup>3</sup>,  $\omega$  représente la teneur en humidité du produit en pourcentage et  $cf$  représente la fraction de carbone de la masse sèche (0,5 par défaut). 44/12 représente le rapport des masses atomiques du carbone et du dioxyde de carbone.

Équation tirée de la norme EN 16449 : 2014 Produits en bois et dérivés du bois – Calcul du contenu en carbone biogénique du bois et conversion en dioxyde de carbone.



## Prochaines étapes

Les normes et directives actuelles ne traitent pas explicitement de la circularité, et ce rapport présente donc quelques considérations lors de l'introduction de stratégies circulaires dans l'analyse cycle de vie de l'ensemble du bâtiment. Le manque d'orientations claires et systématiques sur la manière de prendre en compte l'économie circulaire dans la construction doit être comblé afin de garantir une pratique cohérente et alignée. Ce document est un point de départ qui fait le pont entre les stratégies circulaires et l'ACV de l'ensemble du bâtiment pour le secteur de la construction.

Les prochaines étapes devraient inclure des clarifications sur la réalisation de rapports ACV de l'ensemble du bâtiment, une évaluation plus poussée des outils d'ACV et les façons dont ils intègrent les évaluations circulaires et des exemples et des leçons tirées de l'application des concepts présentés dans ce document. D'autres stratégies circulaires (celle qui touchent au concept de transfert de propriété, par exemple) pourraient également être explorées.

[L'établissement d'une approche cohérente à l'ensemble de l'industrie pour évaluer les impacts environnementaux des décisions de conception des bâtiments est essentiel afin de fixer des objectifs réalisables et significatifs en vue d'un avenir plus durable.](#)



# Annexe

Annexe :

Approches pour le carbone biogénique

## Approches pour le carbone biogénique

Les approches de la comptabilisation du carbone biogénique proposées dans les normes et les lignes directrices diffèrent les unes des autres de cinq manières principales. Ces différences sont présentées ci-dessous pour a) donner une idée des différentes hypothèses et méthodologies qui sous-tendent les analyses que les praticiens peuvent rencontrer et b) montrer où se situent les lignes directrices nationales par rapport aux autres approches.

### 1. Approches -1/+1 versus 0/0

Les lignes directrices nationales adoptent l'approche -1/+1, qui consiste à suivre tous les flux biogéniques pendant la durée de vie d'un bâtiment, y compris les absorptions (-1) et les rejets (+1). La plupart des autres lignes directrices utilisent cette même approche. Cependant, elle est critiquée, car bien que l'effet net doive théoriquement être nul, les calculs peuvent entraîner des impacts négatifs si les limites du système ne sont pas correctement définies et donc induire les décideurs en erreur. De plus, l'approche reconnaît que si le nouveau flux de carbone est nul, son PRP peut changer, car le CO<sub>2</sub> séquestré est libéré sous forme de méthane lors de la combustion. Une alternative à -1/+1 est 0/0 (c.-à-d. aucune prise en compte du carbone biogénique). C'est ce que recommande le guide de la Commission européenne pour l'élaboration de règles relatives aux catégories d'empreintes environnementales des produits (EC2017). Cette approche reflète plus fidèlement les impacts climatiques agrégés et présente moins de risques de déformation des faits. D'autres normes et lignes directrices telles que les normes ISO 14040/44 et EN 15978 n'incluent pas d'instructions sur le carbone biogénique et utilisent donc implicitement l'approche 0/0. Il existe une troisième approche, dynamique, qui nécessite une analyse plus détaillée et qui est principalement appliquée dans le domaine de la recherche. Une ACV dynamique prend en compte l'évolution des impacts du PRP dans le temps, ce qui la rend pertinente pour la séquestration et le stockage temporaires du carbone dans la biomasse, tout en ajoutant à la complexité de la comptabilisation du carbone biogénique et à l'absence de consensus dans l'industrie.

### 2. Exigences en matière de réalisation de rapports

Les lignes directrices nationales et les normes ISO

21930 et EN 15804 précisent que les flux de carbone biogénique doivent être documentés à chaque étape et dans chaque module où ils interviennent. Les lignes directrices nationales exigent également que le carbone biogénique soit inclus dans le total des impacts carbone pour chaque étape et module et que la contribution spécifique du carbone biogénique à ce total soit précisée. Cela contraste avec d'autres lignes directrices qui exigent que le carbone biogénique soit déclaré séparément des autres impacts carbone (p. ex : EN 15804, ISO 14067, EN 16485, lignes directrices Athena IE4B, WRI GHG, ILCD, EC2017). Plus précisément, la norme EN 15804 indique que le carbone biogénique doit toujours être pris en compte dans les modules individuels, tandis que les lignes directrices Athena IE4B stipulent que les bénéfices nets du carbone biogénique doivent plutôt être déclarés dans le module D. Les autres lignes directrices énumérées n'indiquent pas comment les flux de carbone biogénique doivent être rapportés tant qu'ils sont distincts des principaux résultats de l'analyse.

### 3. Crédits pour le stockage temporaire du carbone

Plusieurs normes prévoient un crédit pour le stockage temporaire, et les méthodes de calcul diffèrent. Ces normes sont ISO 21930 (et donc les lignes directrices nationales), ISO 14067, EN 16485 et PAS 2050. D'autres normes et lignes directrices telles que la norme EN 15804, les lignes directrices Athena IE4B, les FPIInnovations Wood Products Category Rules (PCR) et la norme EC2017 ne considèrent aucun avantage lié au stockage temporaire.

### 4. Possibilité de stockage permanent du carbone

Plusieurs normes incluent la possibilité de stockage permanent du carbone biogénique. Les lignes directrices Athena IE4B, PAS 2050, ILCD, EC2017 prévoient la possibilité d'un stockage permanent. Le stockage peut être considéré comme permanent après une période limite de 100 ans. Le point de départ de ces 100 ans varie en fonction de la norme. Les lignes directrices nationales sont alignées sur les normes ISO 21930, ISO 14067, EN 15804, EN 16485 et FPIInnovations PCR en ce sens qu'elles ne prévoient pas la possibilité d'un stockage permanent.

### 5. Impacts sur l'utilisation des terres

Plusieurs normes et lignes directrices traitent de certains impacts indirects des changements d'utilisation des terres en subordonnant la

séquestration du carbone à la gestion durable des forêts d'origine (p. ex : ISO 21930, EN 15804, Athena IE4B), tandis que d'autres utilisent une approche basée sur Ciais (2014) et al. (ISO 14067, EN 16485). PAS 2050 fournit des valeurs par défaut pour certains pays. PAS 2050, ISO 14067, EC2017 précisent que les changements d'affectation des terres survenus au cours d'une période de 20 ans ou d'une rotation complète (durée nécessaire pour que les arbres récoltés atteignent leur maturité) doivent être pris en compte.

Tableau 8. Le carbone biogénique selon différentes normes et lignes directrices

Norme, ligne directrice (influencé par)	0/0 ou +1/-1	Lignes directrices sur le stockage permanent et temporaire	Lignes directrices sur la manière dont le carbone biogénique doit être déclaré	Lignes directrices sur l'inclusion ou l'exclusion des changements dans l'utilisation des terres
<b>The National Guidelines ISO 21930</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent possible, suppose des flux globaux nets nuls.</li> <li>– Pas de spécifications relatives aux bénéfices du stockage temporaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas d'exigence que le carbone biogénique soit rapporté séparément.</li> <li>– Les flux biogéniques doivent être documentés à chaque étape [A-D]</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'émission négative pendant l'étape du produit dépend de la gestion durable de la forêt.</li> </ul>
<b>ISO 21930:2017</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Aucun stockage permanent possible, ce qui suppose des flux globaux nets nuls.</li> <li>– Les émissions retardées peuvent être communiquées à titre d'information supplémentaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le carbone biogénique (et la carbonatation) doit être agrégé dans l'indicateur principal.</li> <li>– Les flux biogéniques doivent être documentés à chaque étape et dans chaque module où les flux ont lieu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions négatives pendant l'étape de produit dépendent de la gestion durable des forêts.</li> </ul>
<b>ISO 14067 Ciais et al.(2014)</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent possible, en supposant des flux globaux nets nuls.</li> <li>– L'impact du stockage du carbone (&gt;10 ans) peut être documenté séparément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions et les absorptions provenant de sources biogéniques doivent être documentées séparément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doit prendre en compte le changement dans l'utilisation de terres au cours d'une période de 20 ans ou d'une rotation complète. Évaluation basée sur Ciais et al. (2014).</li> </ul>
<b>EN15804:2012 + A2:2019 ISO 14067</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent possible, suppose des flux globaux nets nuls.</li> <li>– Pas de crédit pour le stockage temporaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le carbone biogénique doit être documenté séparément des changements dans l'utilisation des terres et des émissions fossiles.</li> <li>– Les flux biogéniques doivent être documentés à chaque étape et dans chaque module où les flux ont lieu.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions négatives pendant l'étape de produit dépendent de la gestion durable des forêts.</li> </ul>
<b>EN 16485 (2014) PAS 2050 Ciais et al.(2014)</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent possible, suppose des flux globaux nets nuls.</li> <li>– L'effet des émissions retardées peut être calculé sur la base de PAS 2050 (2011) ou de Ciais et al.(2014) et communiqué en tant qu'information supplémentaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le carbone biogénique doit être documenté séparément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doit prendre en compte le changement dans l'utilisation de terres. Basé sur Ciais et al.(2014).</li> </ul>
<b>Athena IE4B guidelines PAS 2050, WRI, ISO 14067</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le stockage permanent du carbone est défini comme (&gt;100 ans).</li> <li>– Pas de crédit pour le stockage temporaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Le carbone biogénique doit être documenté dans le module D.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– L'émission négative pendant la phase du produit dépend de la repousse complète de la forêt.</li> </ul>
<b>FPInnovations wood products Product Category Rules (PCR)</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent possible, suppose des flux globaux nets nuls</li> <li>– Pas de spécifications relatives aux avantages du stockage temporaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas d'exigences spécifiques. Le bilan carbone peut être indiqué à différentes étapes du cycle de vie. Les émissions fossiles peuvent être présentées comme un sous-ensemble spécifique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Non spécifié</li> </ul>
<b>PAS 2050</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– -Le stockage permanent du carbone est défini comme (&gt;100 ans).</li> <li>– Le crédit peut être inclus, mais séparément. Le facteur de pondération pour les émissions retardées peut être calculé sur la base d'une actualisation linéaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Il n'est pas nécessaire de déclarer le carbone biogénique séparément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Doit prendre en compte le changement dans l'utilisation des terres au cours d'une période de 20 ans ou d'une rotation complète. Basé sur les valeurs par défaut des changements dans l'utilisation des terres pour les pays sélectionnés.</li> </ul>
<b>WRI GHG Protocol for products</b>	N/D	<ul style="list-style-type: none"> <li>– N/D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions et les absorptions provenant de sources biogéniques doivent être documentées séparément.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– N/D</li> </ul>
<b>ILCD PAS 2050</b>	1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions retardées au-delà de 100 ans ne sont pas considérées comme permanentes, mais peuvent être déclarées séparément.</li> <li>– Le crédit peut être inclus, mais séparément. Le facteur de pondération pour les émissions retardées peut être calculé sur la base d'une actualisation linéaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Les émissions retardées au-delà de 100 ans sont comptabilisées séparément en tant que dioxyde de carbone biogénique (long terme).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Non spécifié</li> </ul>
<b>EC (2017a, 2017b) PAS 2050 Ciais et al. (2014)</b>	0/0	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Stockage permanent du carbone défini comme (&gt;100 ans).</li> <li>– Pas de crédit pour le stockage temporaire du carbone.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Teneur en carbone biogénique communiquée en tant qu'information technique supplémentaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Changements dans l'utilisation des terres au cours d'une période de 20 ans ou d'une rotation complète. Évalué selon de PAS 2050 ou de Ciais et al. (2014).</li> </ul>
<b>EC (2013b) Ciais et al.(2014)</b>	-1/+1	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas de stockage permanent</li> <li>– Le crédit pour le stockage temporaire du carbone peut être inclus en tant qu'information supplémentaire.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pas d'exigence de déclaration séparée du carbone biogénique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Changements dans l'utilisation des terres s au cours d'une période de 20 ans ou d'une rotation complète. Évalué selon Ciais et al.(2014).</li> </ul>

# Références

## B1. Stratégies qui visent à partager des matériaux entre les systèmes

1. Rasmussen, F. N., Birkved, M., & Birgisdóttir, H. (2019). Upcycling and Design for Disassembly – LCA of buildings employing circular design strategies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 225(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012040>
2. Dos Santos Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings (JRC110082). Publications Office of the European Union. <https://dx.doi.org/10.2760/10016>
3. Etienne, D., Lisa, W., & Laetitia, D. (2022). Evaluating ‘reuse’ in the current LCA framework – Impact of reuse and reusability in different life cycle stages. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078(1), 012015. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012015>
4. Ragossnig, A. M., & Schneider, D. R. (2019). Circular economy, recycling and end-of-waste. Waste Management & Research, 37(2), 109–111. <https://doi.org/10.1177/0734242X19826776>

## Ressources supplémentaires sur les méthodes d’allocation

- Allacker, K., Mathieux, F., Pennington, D., & Pant, R. (2017). The search for an appropriate end-of-life formula for the purpose of the European Commission Environmental Footprint initiative. The International Journal of Life Cycle Assessment, 22(9), 1441–1458. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1244-0>
- De Wolf, C., Hoxha, E., & Fivet, C. (2020). Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study. Sustainable Cities and Society, 61, 102322. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322>
- Eberhardt, L. C. M., Stijn, A. van, Rasmussen, F. N., Birkved, M., & Birgisdóttir, H. (2020). Towards circular life cycle assessment for the built environment: A comparison of allocation approaches. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588(3), 032026. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032026>
- Leroy, C., Avery, N., Tikana, L., & Grund, S. (2019). Reconciling recycling at production stage and end of life stage in EN 15804: The case of metal construction products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 323, 012049. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012049>
- Malabi Eberhardt, L. C., van Stijn, A., Nygaard Rasmussen, F., Birkved, M., & Birgisdóttir, H. (2020). Development of a Life Cycle Assessment Allocation Approach for Circular Economy in the Built Environment. Sustainability, 12(22), Article 22. <https://doi.org/10.3390/su12229579>
- Mirzaie, S., Thuring, M., & Allacker, K. (2020). End-of-life modelling of buildings to support more informed decisions towards achieving circular economy targets. The International Journal of Life Cycle Assessment, 25(11), 2122–2139. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01807-8>

## B1.1 Utilisation de matériaux recyclés et de composants réutilisés

1. Dos Santos Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings (JRC110082). Publications Office of the European Union. <https://dx.doi.org/10.2760/10016>
2. Resch, E., Wiik, M. K., Tellnes, L. G., Andresen, I., Selvig, E., & Stoknes, S. (2022). FutureBuilt Zero—A simplified dynamic LCA method with requirements for low carbon emissions from buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078(1), 012047. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012047>
3. Nationale Milieu Database. (2022). Environmental Performance Assessment Method for Construction Works—Version 1.1. <https://milieudatabase.nl/en/environmental-performance/assessment-method/>
4. Knoeri, C., Sanyé-Mengual, E., & Althaus, H.-J. (2013). Comparative LCA of recycled and conventional concrete for structural applications. The International Journal of Life Cycle Assessment, 18(5), 909–918. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0544-2>

## B1.2 Conception pour la déconstruction Études de cas supplémentaires

1. Dos Santos Gervasio, H., & Dimova, S. (2018). Model for Life Cycle Assessment (LCA) of buildings (JRC110082). Publications Office of the European Union. <https://dx.doi.org/10.2760/10016>
2. Hoxha, E., & Fivet, C. (Eds.). (2018). Environmental Benefits when Reusing Load-Bearing Components in Office Buildings: A Case Study. Proceedings of the PLEA 2018 Conference.

## Études de cas supplémentaires

- Chau, C. K., Xu, J. M., Leung, T. M., & Ng, W. Y. (2017). Evaluation of the impacts of end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office building. Applied Energy, 185, 1595–1603. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.019>
- Rasmussen, F. N., Birkved, M., & Birgisdóttir, H. (2019). Upcycling and Design for Disassembly – LCA of buildings employing circular design strategies. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 225(1), 012040. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012040>
- Roberts, M., Allen, S., Clarke, J., Searle, J., & Coley, D. (2023). Understanding the global warming potential of circular design strategies: Life cycle assessment of a design-for-disassembly building. Sustainable Production and Consumption, 37, 331–343. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.03.001>
- Sandin, Y., Shotton, E., Cramer, M., Sandberg, K., Walsh, S. J., Östling, J., Cristescu, C., González-Alegre, V., Íñiguez-González, G., Llana, D. F., Carlsson, A., Uí Chúláin, C., Jackson, N., García Barbero, M., & Zabala Mejia, A. (2022). Design of Timber Buildings for Deconstruction and Reuse—Three methods and five case studies. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-59357>

## Ressources supplémentaires sur la conception pour la déconstruction

- AIA. (n.d.). Buildings that last: Design for adaptability, deconstruction, and reuse. American Institute of Architects. Retrieved April 20, 2023, from [https://content.aia.org/sites/default/files/2020-03/ADR-Guide-final\\_0.pdf](https://content.aia.org/sites/default/files/2020-03/ADR-Guide-final_0.pdf)
- Bertino, G., Kisser, J., Zeilinger, J., Langergraber, G., Fischer, T., & Österreicher, D. (2021). Fundamentals of Building Deconstruction as a Circular Economy Strategy for the Reuse of Construction Materials. Applied Sciences, 11(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/app11030939>
- Joensuu, T., Leino, R., Heinonen, J., & Saari, A. (2022). Developing Buildings’ Life Cycle Assessment in Circular Economy—Comparing methods for assessing carbon footprint of reusable components. Sustainable Cities and Society, 77, 103499. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103499>
- Kanters, J. (2018). Design for Deconstruction in the Design Process: State of the Art. Buildings, 8(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/buildings8110150>
- Rios, F. C., Chong, W. K., & Grau, D. (2015). Design for Disassembly and Deconstruction—Challenges and Opportunities. Procedia Engineering, 118, 1296–1304. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.485>
- Wasim, S. (2017). Design of concrete buildings for disassembly: An explorative review. International Journal of Sustainable Built Environment, 6. <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2017.03.005>

## B1.3 Rénovation de bâtiments existants

1. Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy and Buildings, 135, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>
2. Schwartz, Y., Raslan, R., & Mumovic, D. (2022). Refurbish or replace? The Life Cycle Carbon Footprint and Life Cycle Cost of Refurbished and New Residential Archetype Buildings in London. Energy, 248, 123585. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123585>
3. Obrecht, T. P., Jordan, S., Legat, A., Ruschi Mendes Saade, M., & Passer, A. (2021). An LCA methodology for assessing the environmental impacts of building components before and after refurbishment. Journal of Cleaner Production, 327, 129527. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129527>
4. Berg, F., & Fuglseth, M. (2018). Life cycle assessment and historic buildings: Energy-efficiency refurbishment versus new construction in Norway. Journal of Architectural Conservation, 24(2), 152–167. <https://doi.org/10.1080/13556207.2018.1493664>
5. Zimmermann, R. K., Barjot, Z., Rasmussen, F. N., Malmqvist, T., Kuittinen, M., & Birgisdóttir, H. (2023). GHG emissions from building renovation versus new-build: Incentives from assessment methods (1). 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/bc.325>

Ramírez-Villegas, R., Eriksson, O., & Olofsson, T. (2019). Life Cycle Assessment of Building Renovation Measures—Trade-off between Building Materials and Energy. Energies, 12(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/en12030344>

## Ressources supplémentaires

- Hasik, V., Escott, E., Bates, R., Carlisle, S., Faircloth, B., & Bilec, M. M. (2019). Comparative whole-building life cycle assessment of renovation and new construction. Building and Environment, 161, 106218. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106218>
- Palacios-Munoz, B., Peuportier, B., Gracia-Villa, L., & López-Mesa, B. (2019). Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach. Building and Environment, 160, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>
- Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy and Buildings, 135, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>
- Zimmermann, R. K., Kanafani, K., Rasmussen, F. N., Andersen, C., & Birgisdóttir, H. (2020). LCA-Framework to Evaluate Circular Economy Strategies in Existing Buildings. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588(4), 042044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/4/042044>
- Zimmermann, R. K., Rasmussen, F. N., Kanafani, K., Eberhardt, L. C. M., & Birgisdóttir, H. (2022). Reviewing allocation approaches and modelling in LCA for building refurbishment. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 1078(1), 012095. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1078/1/012095>

## B2. Stratégies qui visent à accroître l’utilisation des bâtiments

### B2.1 Conception pour la longévité

1. Marsh, R. (2017). Building lifespan: Effect on the environmental impact of building components in a Danish perspective. Architectural Engineering and Design Management, 13(2), 80–100. <https://doi.org/10.1080/17452007.2016.1205471>

## Ressources supplémentaires

- AIA. (2020). Buildings that last: Design for adaptability, deconstruction, and reuse. American Institute of Architects. Retrieved April 20, 2023, from [https://content.aia.org/sites/default/files/2020-03/ADR-Guide-final\\_0.pdf](https://content.aia.org/sites/default/files/2020-03/ADR-Guide-final_0.pdf)
- Askar, R., Bragança, L., & Gervásio, H. (2022). Design for Adaptability (DfA)—Frameworks and Assessment Models for Enhanced Circularity in Buildings. Applied System Innovation, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.3390/asi5010024>
- Blichova, Z., Vilcekova, S., Burdova, E. K., & Katunský, D. (2022). Life cycle assessment of residential buildings and scenarios for prolonged life span. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1252(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1252/1/012006>

## Références (suite)

- Rasmussen, F. N., Zimmermann, R. K., Kanafani, K., Andersen, C., & Birgisdóttir, H. (2020). The choice of reference study period in building LCA – case-based analysis and arguments. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 588(3), 032029. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/588/3/032029>

### B2.2 Conception pour l'intensification des usages

1. Khasreen, M. M., Banfill, P. F. G., & Menzies, G. F. (2009). Life cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. Sustainability, 1(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/su1030674>
2. de Simone Souza, H. H., de Abreu Evangelista, P. P., Medeiros, D. L., Albertí, J., Fullana-i-Palmer, P., Boncz, M. Á., Kiperstok, A., & Gonçalves, J. P. (2021). Functional unit influence on building life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 26(3), 435–454. <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01854-1>

### Ressources supplémentaires sur les unités fonctionnelles

- Vilches, A., Garcia-Martinez, A., & Sanchez-Montañes, B. (2017). Life cycle assessment (LCA) of building refurbishment: A literature review. Energy and Buildings, 135, 286–301. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.042>
- Zimmermann, R. K., Barjot, Z., Rasmussen, F. N., Malmqvist, T., Kuitinen, M., & Birgisdóttir, H. (2023). GHG emissions from building renovation versus new-build: Incentives from assessment methods (1). 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/bc.325>

## B3.Stratégies de réduction des impacts matériels

### B3.1 Sobriété matérielle et sélection des matériaux

1. Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois. (2021). Dossier spécial: Réduction de émissions de GES des bâtiments. Le journal de la construction commerciale en bois, 13.
2. Orsini, F., & Marrone, P. (2019). Approaches for a low-carbon production of building materials: A review. Journal of Cleaner Production, 241, 118380. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118380>
3. Fennell, P., Driver, J., Bataille, C., & Davis, S. J. (2022). Going net zero for cement and steel. Nature, 603.

### B3.2 Utilisation de matériaux qui stockent le carbone biogénique

#### Ressources supplémentaires sur la comptabilisation du carbone biogénique :

- Athena Sustainable Materials Institute. (2019). User Manual and Transparency Document—Impact Estimator for Buildings v.5. Athena Sustainable Materials Institute. [https://calculateitca.com/wp-content/uploads/2019/05/IE4B\\_v5.4\\_User\\_Guide\\_May\\_2019.pdf](https://calculateitca.com/wp-content/uploads/2019/05/IE4B_v5.4_User_Guide_May_2019.pdf)
- Ciaï, P., Sabine, C., Bala, G., Bopp, L., Brovkin, V., Canadell, J., Chhabra, A., Defries, R., Galloway, J., & Heimann, M. (2014). Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 465–570). Cambridge University Press.
- Chomkhamsri, K., & Pelletier, N. (2011). Analysis of Existing Environmental Footprint Methodologies for Products and Organizations: Recommendations, Rationale, and Alignment. European Commission Joint Research Centre.
- Hoxha, E., & Passer, A. (2021). Should biogenic carbon be analysed separately in the calculation of the GWP indicator? Journal of Physics: Conference Series, 2042(1), 012168. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2042/1/012168>
- Hoxha, E., Passer, A., Saade, M. R. M., Trigaux, D., Shuttleworth, A., Pittau, F., Allacker, K., & Habert, G. (2020). Biogenic carbon in buildings: A critical overview of LCA methods (1). 1(1), Article 1. <https://doi.org/10.5334/bc.46>
- Levasseur, A., Brandão, M., Lesage, P., Margni, M., Pennington, D., Clift, R., & Samson, R. (2012). Valuing temporary carbon storage. Nature Climate Change, 2(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/nclimate1335>
- Morris, F., Allen, S., & Hawkins, W. (2021). On the embodied carbon of structural timber versus steel, and the influence of LCA methodology. Building and Environment, 206, 108285. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108285>
- Ouellet-Plamondon, C. M., Ramseier, L., Balouktsi, M., Delem, L., Foliente, G., Francart, N., Garcia-Martinez, A., Hoxha, E., Lützkendorf, T., Nygaard Rasmussen, F., Peuportier, B., Butler, J., Birgisdóttir, H., Dowdell, D., Dixit, M. K., Gomes, V., Gomes da Silva, M., Gómez de Cózar, J. C., Kjendseth Wiik, M., ... Frischknecht, R. (2023). Carbon footprint assessment of a wood multi-residential building considering biogenic carbon. Journal of Cleaner Production, 404, 136834. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136834>
- Soldal, E., & Saur Modahl, I. (2022). A review of standards and frameworks for reporting of biogenic CO<sub>2</sub>. Open version. (OR.08.22). Norwegian Institute for Sustainability Research.
- Weidema, B. P. (2022). Comparison of the requirements of the GHG Protocol Product Life Cycle standard and the ISO 14040 series. 2.0 LCA Consumtants.

Partenaires financiers du lab construction :

