

**Faculté d'architecture, d'ingénierie
architecturale, d'urbanisme**

Intégrer des éléments de réemploi dans la construction neuve : agir pour demain.

Auteure : Amandine Bodenghien

Promoteur·rices : André Stephan
Dorothee Stiernon

Lecteur·rices : Michael Ghyoot
Émilie Gobbo

Année académique 2022-2023

Master : ingénieur civil et architecte à finalité spécialisée

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier mes promoteurs Dorothée Stiernon et André Stephan pour leur disponibilité et leur suivi durant la réalisation de ce mémoire. Je suis également très reconnaissante pour tous les échanges bienveillants, intéressants et très enrichissants que nous avons pu avoir tout au long de ces mois de travail, ainsi que pour toutes ces réunions remplies de judicieux conseils qui m'ont aidée à alimenter ma réflexion et fait grandir ce travail. J'en profite aussi pour remercier Morgane Bos pour ces conseils lors de certaines de nos entrevues.

Je tiens par ailleurs à remercier Sophie Trachte d'avoir rendu possible ce travail de fin d'étude sur le thème du réemploi, ainsi que sa précieuse expertise.

Je voudrais remercier mes lecteurs Émilie Gobbo et Michael Ghyoot d'avoir accepté ce rôle. Je les remercie de plus pour le temps qu'ils m'ont consacré et les échanges enrichissants que nous avons pu avoir. C'est vraiment un honneur pour moi de pouvoir compter sur de telles pointures du réemploi dans mon comité de jury et dans le cadre de ce mémoire.

Je remercie également les cogérants de Retrival, Damien Verraver et Thibaut Jacquet pour leur accueil, leur disponibilité, leur partage d'informations et de documents ainsi que pour leurs retours d'expérience qui ont été très précieux.

Je remercie tous les professeurs que j'ai pu avoir durant mon cursus universitaire pour leur partage de savoir et les connaissances que j'ai pu assimiler tout au long de mon parcours.

Je remercie mes amis et collègues de travail pour leur présence, leur support moral et intellectuel tout au long de mes études. Je remercie plus particulièrement Éline Gérard et Carl-Henry Magloire pour leur aide et conseils relatifs à ce TFE.

Finalement et non des moindres, je remercie ma famille pour leur encouragement, leur présence, leur patience et leur soutien inconditionnel à toujours croire en mes capacités durant ce long chemin. Je remercie ma mère, Geneviève, pour ses nombreuses relectures.

Je souhaite remercier Jean-Amand pour sa patience et son soutien au quotidien de jour comme de nuit.

Enfin, je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce mémoire.

Merci à tous de m'avoir épaulé dans cette thématique qui me tient à cœur et me passionne vraiment.

ABSTRACT

Face aux enjeux climatiques et environnementaux actuels, ainsi qu'aux consommations intensives de ressources, l'Europe met en place la stratégie « Europe 2020 » en créant une feuille de route aspirant à « définir des objectifs à moyen et long terme, ainsi que les moyens d'y parvenir » dans le but de créer « Une Europe efficace dans l'utilisation des ressources » (**U.E, 20-09-2011**). Cette feuille de route met en avant le fait de transformer nos déchets en ressources, notamment en ciblant des secteurs clés, dont celui de la construction. Malgré les efforts mis en place pour développer l'économie circulaire et le secteur du réemploi, un manque de connaissances gravite encore autour de ce dernier. Effectivement, il n'y a pas encore suffisamment d'études qui se sont penchées sur la question du réemploi dans la construction neuve et sur l'impact environnemental qu'engendre une utilisation maximale de matériaux réemployés au sein de celle-ci.

Ainsi, l'objectif de cette recherche est d'explorer jusqu'où il est possible de pousser l'utilisation de matériaux de réemploi dans la construction neuve, ainsi que de quantifier le bénéfice environnemental qui découle de ce taux de réemploi. Ceci dans le but de réduire l'impact environnemental.

Cette recherche se base sur un cas d'étude et propose une méthodologie comparative afin d'évaluer l'impact environnemental en fonction du taux de réemploi. Cette méthode met en place cinq scénarios et chacun d'eux possède un taux de réemploi différent, partant de 0% de réemploi vers un taux utopique de 100% de réemploi. Le cas d'étude quant à lui est inclus dans ces scénarios et contient un taux de réemploi en volume de 10% et est repris comme le cas de référence pour les comparaisons entre les scénarios. Enfin, ces scénarios sont modélisés dans l'outil Totem qui permet d'obtenir leur impact environnemental.

Il en ressort qu'une construction totalement neuve, engendre une augmentation d'impact environnemental de 10% par rapport au cas d'étude. En revanche, toujours en comparaison avec le cas d'étude, considérer un cas avec des matériaux identiques, mais en sélectionnant le maximum de ceux-ci sur les plateformes du réemploi en fonction des disponibilités, permet d'atteindre une diminution d'impact environnemental de 35%, pour un taux de réemploi en volume de 47%. Pour aller plus loin, le cas suivant, qui reprend toutes les caractéristiques du cas précédent, remplace certains matériaux neufs par des matériaux de réemploi du même type, toujours en fonction de la disponibilité sur les plateformes. Ce scénario obtient un score environnemental de 49%, ce qui diminue l'impact environnemental de moitié par rapport au cas d'étude, et ce, pour un taux de réemploi en volume de 57%. Enfin, le dernier cas plutôt utopique avec un taux de réemploi en volume de 100% affiche un impact environnemental de 31%, ce qui équivaut à un bénéfice environnemental de 69% par rapport au cas d'étude.

Cette recherche démontre ainsi la possibilité d'améliorer de manière considérable l'impact environnemental grâce à l'intégration d'éléments de réemplois. Elle prouve également que, malgré différents freins rencontrés lors du processus, il est tout à fait possible et réalisable de pousser l'utilisation de matériaux réemployés au maximum afin d'obtenir un bénéfice environnemental réellement significatif lors de projets de construction.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS	1
ABSTRACT	3
TABLE DES MATIÈRES	4
I. INTRODUCTION	6
II. MISE EN CONTEXTE	7
1) ENJEUX CLIMATIQUES	7
2) ORIGINES HISTORIQUES	7
3) CONSOMMATION DES RESSOURCES NATURELLES	8
4) ÉCONOMIE CIRCULAIRE.....	10
5) CONSTAT.....	12
III. ÉTAT DE L'ART	13
1) DÉFINIR LE RÉEMPLOI.....	13
2) DÉFINIR LA RÉVERSIBILITÉ	13
3) NORMES	14
4) FREINS AU RÉEMPLOI	17
5) ORGANISMES EXISTANTS	19
5.1) Les pouvoirs publics	19
5.2) Les financements.....	20
5.3) Les centres de recherches	21
6) PLATEFORMES DU CIRCULAIRE	23
7) OUTILS - TOTEM	25
8) PRATIQUES ACTUELLES.....	27
9) MATÉRIAUX RÉEMPLOYÉS AUJOURD'HUI.....	43
10) DÉMARCHE FAVORABLE À LA CONCEPTION CIRCULAIRE	46
11) BILAN	47
IV. QUESTION DE RECHERCHE	48
V. CAS D'ÉTUDE	49
1) SÉLECTION D'UN CAS D'ÉTUDE	49
2) DESCRIPTION DU CAS D'ÉTUDE	50
VI. MÉTHODOLOGIE	61
1) PRÉSENTATION GÉNÉRALE	61
2) SCÉNARIOS – MÉTHODOLOGIE COMPARATIVE	62
3) SÉLECTION DES MATÉRIAUX DE RÉEMPLOI SUR LES PLATEFORMES	64

4) IMPACT ENVIRONNEMENTAL VIA L'OUTIL TOTEM	69
5) BILAN DE MATIÈRE	72
VII. SCÉNARIOS.....	76
0) RETRIVAL « CAS NEUF ».....	77
1) RETRIVAL « CAS EXISTANT »	78
2) RETRIVAL « CAS DISPONIBLE »	81
3) RETRIVAL « CAS DIFFÉRENT ».....	82
4) RETRIVAL « CAS THÉORIQUE»	84
VIII. RÉSULTATS.....	86
1) BILAN DE MATIÈRE	86
2) IMPACT PAR INDICATEURS.....	90
IX. DISCUSSION	97
X. LIMITES ET PERSPECTIVE	100
1) IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE	100
1.1) Impact économique	101
1.2) Impact social.....	102
XI. CONCLUSION.....	104
XII. ANNEXES.....	106
1) MÉTRÉ DU CAS D'ÉTUDE	106
2) FICHE MATÉRIAUX RETRIVAL « CAS DISPONIBLE »	112
3) MATÉRIAUX RETRIVAL « CAS DIFFÉRENT»	137
4) DURÉE DE VIE DANS TOTEM.....	150
5) LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET SOURCES :	161
XIII. BIBLIOGRAPHIES.....	164

I. INTRODUCTION

Aux vues des enjeux climatiques et environnementaux actuels, il est impératif d'agir à court et long terme pour diminuer l'impact environnemental généré par nos modes de vie et nos consommations intensives de ressources. On constate également que l'empreinte écologique de la Belgique figure parmi les plus significatives d'Europe (**Network, 2022**). Cette conscientisation collective mène l'Union Européenne à inscrire un objectif de réduction des déchets (**U.E, 2008**) et à se diriger vers une économie circulaire (**U.E, 2020**).

En Europe, le secteur de la construction représente 40% des matières premières extraites et génère 35% de l'ensemble des déchets solides (**Bos, 02.2021**). À échelle plus réduite, la Belgique ne fait pas exception avec un tiers de ses déchets qui provient du domaine de la construction (**Statbel**). En parallèle, il est estimé que seulement 1% des éléments de construction sont réemployés après leur première utilisation actuellement dans le nord-ouest de l'Europe. (**FCRBE**). Cependant, l'utilisation d'éléments réemployés représente un réel potentiel, c'est pourquoi l'Europe avec le projet FCRBE vise à augmenter de + de 50% la quantité d'éléments de construction récupérés circulant sur son territoire d'ici à 2032 (**FCRBE**).

L'état de l'art pointe ce qu'il existe et ce qu'il se fait actuellement en matière de réemploi, notamment au travers de projets pilotes. Cependant, ceux-ci relèvent essentiellement des projets de rénovation intégrant des matériaux de réemploi et n'introduisent que trop peu le réemploi dans la construction neuve, et ce, malgré l'apparition de nouvelles constructions chaque année (**SPW, 2022**). De plus, bien que l'on suppose que le réemploi soit favorable pour l'environnement, aucune étude ne quantifie le bénéfice environnemental acquis en fonction du taux de réemploi de l'ensemble d'un bâtiment.

C'est dans ce manque de connaissances que s'inscrit ce travail de recherche. En effet, il y a une réelle nécessité à documenter davantage, d'une part l'intégration d'éléments de réemploi dans la construction neuve et, d'autre part, de quantifier l'impact environnemental qui découle de cette proportion de réemploi.

L'objectif de cette étude est donc de voir jusqu'où il est possible de pousser le réemploi de matériaux dans la construction neuve en appliquant une méthodologie comparative. Ainsi que d'évaluer le bénéfice environnemental, découlant de cette utilisation maximale d'éléments de réemploi, et ce, dans le but de réduire l'impact environnemental.

Enfin, en plus de prouver qu'une utilisation maximale de matériaux réemployés génère un bénéfice pour l'environnement, ce mémoire aspire également à sensibiliser à grande échelle, et plus particulièrement les architectes, à la thématique du réemploi, ainsi que de l'importance d'inclure des matériaux de réemploi au sein de futurs projets de construction.

II. MISE EN CONTEXTE

1) ENJEUX CLIMATIQUES

Les changements climatiques auxquels nous faisons face ne sont maintenant plus à prouver et la diminution des gaz à effet de serre (GES) est devenue une des préoccupations centrales de notre société. En effet, depuis la fin du XIX^e siècle, et plus particulièrement depuis la révolution industrielle, les températures moyennes mondiales n'ont fait qu'augmenter de manière considérable. Alors que les scientifiques affirment qu'une augmentation de 2°C par rapport au niveau préindustriel aurait des répercussions catastrophiques sur l'environnement **(européen, 04/05/2023)**, la dernière décennie fut la plus chaude jamais enregistrée avec un pic de 1,18°C au-dessus du niveau préindustriel atteint en 2022 **(Agency, 29/06/2023)**. Afin d'éviter de telles conséquences, l'Accord de Paris, traité international juridiquement contraignant sur les changements climatiques, se fixe pour objectif de limiter l'augmentation de la température à 1,5°C au-dessus du niveau préindustriel. Pour maintenir ce cap, les GES doivent diminuer de 43% d'ici à 2030 **(Nation-Unies)**.

On constate que le secteur de la construction en Europe est responsable de près de 40% des émissions de gaz à effet de serre **(Gobbo, 2015)**. Agir dans le domaine de la construction pour réduire l'augmentation des gaz à effet de serre est donc essentiel.

2) ORIGINES HISTORIQUES

Il faut savoir que depuis la révolution industrielle, et surtout depuis la fin de la seconde guerre mondiale, nous sommes entrés dans un système de consommation linéaire et cela dans tous les secteurs. En effet, avec l'arrivée de nouveaux matériaux et de nouvelles technologies, la révolution industrielle est marquée par le passage d'une production artisanale à une production mécanisée à grande échelle d'éléments manufacturés, dite production de masse.

Dans le secteur de la construction, dans les années 1920 et 1930, de nombreuses machines de chantier font leur apparition telles que la boule du démolisseur et le marteau-piqueur, ce qui contribue à des démolitions plus globales et plus rapides **(Ghyoot et al., 2018)**.

En effet, la situation militaire a permis l'accélération de l'évolution des technologies et a également habilité les soldats à s'acclimater à l'utilisation des machines. Après la guerre, beaucoup de personnes se sont lancés comme entrepreneurs en terrassement et en démolition. Notamment en réutilisant une partie du matériel de guerre pour déblayer les villes bombardées et également pour des travaux de démolition. Ces nouvelles pratiques ne prêtent pas vraiment attention à la gestion des déchets. Ils sont envoyés dans des décharges ou des terrains vagues **(Ghyoot et al., 2018)**.

Tout ceci fait basculer le système dans une économie linéaire. Dans le secteur de la construction, cela se traduit comme la ligne de vie d'un matériau passant de l'extraction de matière première, à la fabrication, suivi de son utilisation et de sa destruction pour finir en déchet.

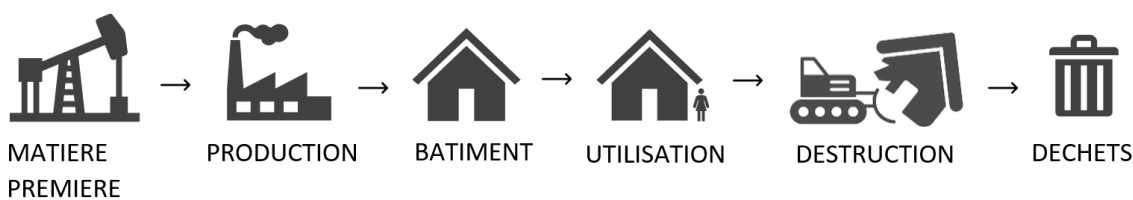


FIGURE 1 : ECONOMIE LINEAIRE
SOURCE 1 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEURE

3) CONSOMMATION DES RESSOURCES NATURELLES

Au niveau mondial

Ce système linéaire engendre une consommation excessive de ressources. Comme illustré à la figure suivante, force est de constater que le nombre de tonnes de matériaux extraits dans le monde ne cesse d'augmenter dans le temps (**MATERIALSFLOWS.NET**). Or, les matières premières ne seront pas disponibles de manière infinie et à ce rythme-là, nous nous dirigeons vers la finitude des ressources.

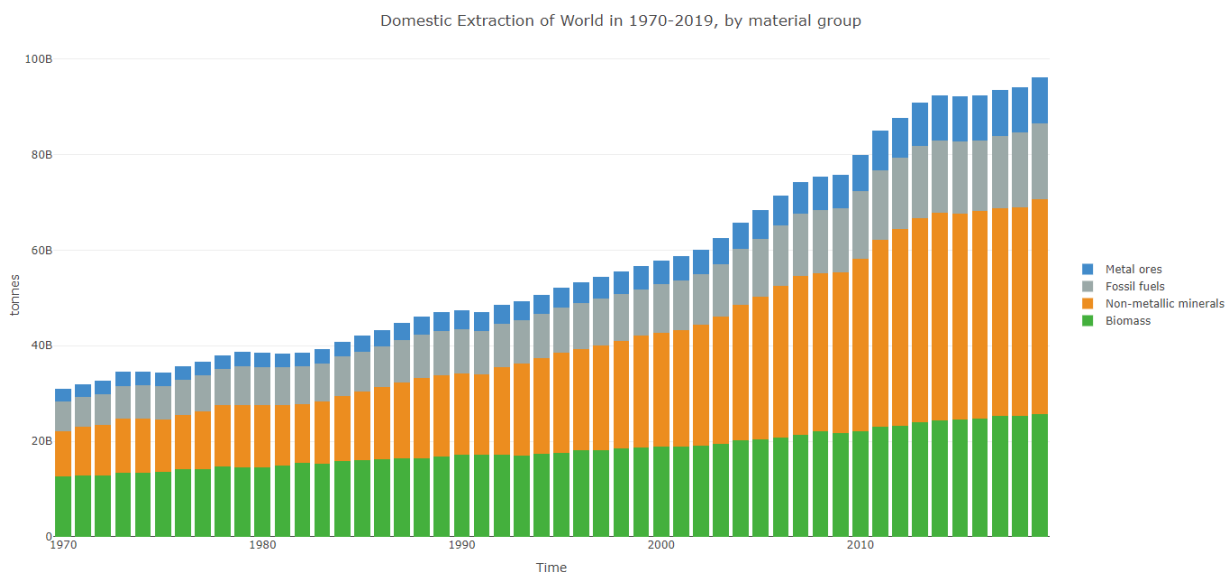


FIGURE 2 : EXTRACTION DES RESSOURCES MONDIALES EN TONNES DE 1970 A 2019.
SOURCE 2 : MATERIALSFLOWS.NET

An niveau européenne

En Europe actuellement, l'usage de ressources matérielles est d'environ 16 tonnes par habitant et par an. Cette consommation intensive génère 6 tonnes de déchets, tous types confondus, par habitant annuellement. Malheureusement, ces chiffres ne cessent d'augmenter, et

ce, malgré une gestion des déchets de plus en plus performante. Cette consommation intensive de ressources et cette production croissante de déchets ont des répercussions néfastes sur nos écosystèmes **(Bos, 02.2021)**.

Le domaine de la construction représente à lui seul une proportion conséquente de ces résultats. En effet, on estime que le secteur de la construction utilise 40% des matières extraites et produit 35% de l'ensemble des déchets solides **(Bos, 02.2021)**.

Au niveau belge

L'impact que produit l'homme sur l'environnement est relevé chaque année, entre autres avec le WWF, World Wildlife Fund, l'ONGI dédiée à la protection de l'environnement et au développement durable.

Le WWF expose les calculs d'empreinte écologique et de jour du dépassement réalisé par le Global Footprint Network. « L'empreinte écologique mesure la quantité de surface terrestre bioproductive nécessaire pour produire les biens et services que nous consommons et pour absorber les déchets que nous produisons. » **(WWF)**

Cet outil met en évidence le fait que chaque année, nous consommons plus que ce que la Terre peut produire en un an. Cette année, le jour du dépassement de la Terre est tombé à la date du 2 août 2023 **(WWF)**. L'année passée, la Belgique a épuisé le crédit de ressources qu'elle est capable de produire en un an à la date du 26 mars 2022. Il faudrait donc l'équivalent de 4,1 Terres uniquement pour les consommations belges **(WWF.be, 2022)**.

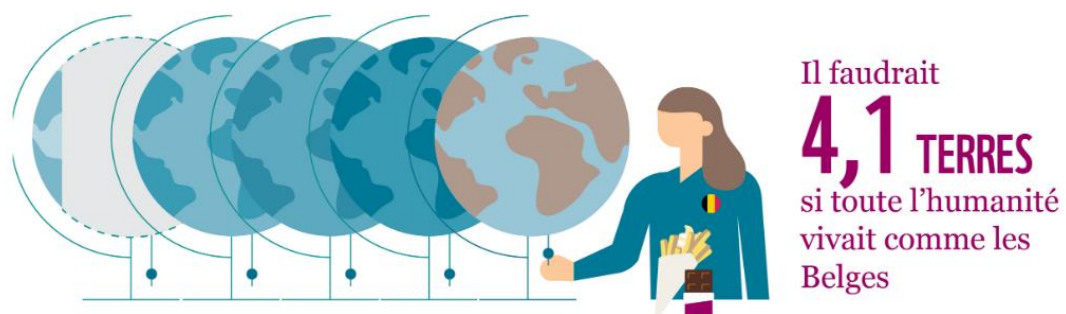


FIGURE 3 : CONSOMMATION ANNUELLE DES BELGES.
SOURCE 3 : WWF.BE (2022)

Dans le secteur de la construction, selon une étude menée par Statbel en 2018, plus d'un tiers de l'ensemble des déchets belges provient du domaine de la construction (**Statbel**).

Production des déchets par secteur en Belgique (2004-2018, en tonnes)	2004	2006	2008	2010	2012	2014	2016	2018
Total	53.013.275	59.294.999	48.615.551	61.323.320	53.839.470	57.965.403	63.152.377	67.429.779
Construction	11.051.218	13.089.649	15.441.861	16.852.662	17.132.769	18.347.259	19.573.149	22.658.151
Services	8.971.810	9.959.475	5.023.641	6.697.911	4.635.229	4.840.455	5.403.172	4.850.496
Ménages	5.337.002	4.745.162	4.459.161	5.865.753	5.294.743	5.419.043	5.041.208	4.885.123
Industrie	26.466.600	31.138.888	23.409.597	31.707.672	26.611.266	29.046.813	32.865.656	34.778.422
Agriculture	1.186.645	361.825	281.291	199.322	165.462	311.833	269.192	257.587

Sources: Statbel (Direction générale Statistique - Statistics Belgium) sur base sur base d'enquêtes, sources administratives (OVAM, IBGE-BIM, DGARNE) et modèles. Données et info supplémentaires: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/data>

FIGURE 4 : PRODUCTION DES DECHETS PAR SECTEUR EN BELGIQUE (2004-2018, EN TONNES)

SOURCE 4 : STATBEL

Pour se donner un ordre de grandeurs, dans son livre *Déconstruction et réemploi*, Rotor déclare qu'« Un tas conique formé par l'équivalent de la production annuelle de déchets C&D (construction et déconstruction) en Belgique s'élèverait jusqu'à près de 250 mètres de haut – bien plus haut que la grande pyramide de Gizeh ! » Qui, rappelons-le, mesure 137 mètres de haut. Ces chiffres seraient encore plus alarmants si les actions de recyclage ne s'étaient pas mises en place (**Ghyoot et al., 2018**).

4) ÉCONOMIE CIRCULAIRE

Aux vues de ces consommations alarmantes et de l'épuisement des ressources, il est primordial de se diriger vers un système plus circulaire. En opposition au schéma traditionnel classique de l'économie linéaire qui va directement de la création d'un produit à sa destruction. L'économie linéaire permet d'optimiser des ressources, en mettant en avant une logique de boucle à valeur positive, comme illustré à la figure suivante.

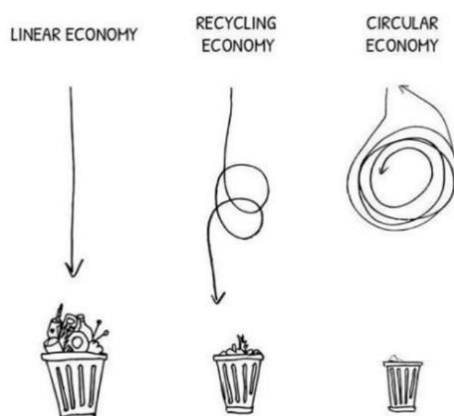


FIGURE 5 : ILLUSTRATION DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE
SOURCE 5 : LICAR1081 - DECHETS ET CIRCULARITE (TRACHTE)

Plusieurs définitions de l'économie circulaire existent. Elles sont, malgré tout, relativement convergentes. Selon la Commission européenne, l'économie circulaire est une économie dans laquelle « les produits et les matières conservent leur valeur le plus longtemps possible, les déchets et l'utilisation des ressources sont réduits au minimum et, lorsqu'un produit arrive en fin de vie, les ressources qui le composent sont maintenues dans le cycle économique afin d'être utilisées encore et encore pour recréer de la valeur » **(SPW)**, tel qu'illustré à la figure suivante.



FIGURE 5 : SCHEMA DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE
SOURCE 5 : PARLEMENT EUROPEEN

Concrètement, une économie circulaire peut s'appliquer dans tous les secteurs en assurant la réduction d'impacts environnementaux. Elle agit, dès lors, sur trois domaines, l'offre, la demande et la gestion des ressources. Reprenant chacun différents piliers respectueux de l'environnement. **(BeCircular)**



FIGURE 6 : L'ECONOMIE CIRCULAIRE DANS TOUS LES SECTEURS
SOURCE 6 : BE CIRCULAR

5) CONSTAT

Suite au contexte environnemental actuel, tel que la raréfaction des ressources premières et la production massive de déchets, il est primordial de se diriger vers une économie circulaire.

Aux vues de la proportion qu'occupe le secteur de la construction dans les résultats exposés, agir dans ce domaine est essentiel. L'utilisation de réemploi dans la construction est l'une des solutions permettant de se diriger vers des modes de consommation plus durables et responsables.

Orienter ce travail de fin d'étude sur la thématique du réemploi est donc réellement pertinent et totalement dans l'air du temps. Surtout lorsque l'on sait que des constructions neuves voient le jour chaque années. En effet, en 2020, 11 067 constructions neuves ont été autorisées, et ce uniquement pour la Wallonie **(SPW, 2022)**.

Dans le but de répondre au mieux aux enjeux et défis actuels du réemploi avec ce travail de fin d'étude, il est important de réaliser l'état de l'art de celui-ci afin de mettre en avant les connaissances et manquements actuels du réemploi.

III. ÉTAT DE L'ART

1) DÉFINIR LE RÉEMPLOI

Avant d'entamer ce travail, il est primordial de définir le réemploi. La notion de réemploi est définie dans la DIRECTIVE 2008/98/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL comme étant : « Toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus. » **(U.E, 2008)**

C'est également cette définition que nous utiliserons dans le cadre de ce travail. À savoir le réemploi d'un matériau sans transformation de celui-ci. Cette notion est à bien distinguer du recyclage, dont nous ne tiendrons pas compte dans ce travail.

Le recyclage, aussi défini dans la DIRECTIVE 2008/98/CE DU PARLEMENT EUROPEEN ET DU CONSEIL, représente « Toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclus le retraitement des matières organiques, mais n'inclus pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage » **(U.E, 2008)**

2) DÉFINIR LA RÉVERSIBILITÉ

En abordant le thème du réemploi, il est aussi important d'introduire le terme de la réversibilité. Dans son cours LICAR1801 – Déchets et circularité, Sophie Trachte définit le mot réversible comme étant un mouvement qui peut revenir en arrière ou se produire en sens inverse. Tel que présenté sur le schéma. **(Trachte)**

En effet, pour pouvoir utiliser des matériaux de réemploi dans un projet, il faut tout d'abord disposer de matériaux réemployés dans des quantités suffisantes. Pour obtenir ces matériaux, il est primordial de concevoir de manière réversible. Toujours selon le cours LICAR1801, une conception réversible entraîne des réflexions sur les modes d'assemblages, en intégrant des possibilités de démontage dès la conception initiale d'un projet, tout en tenant compte des durées de vie respectives des éléments. **(Trachte)**

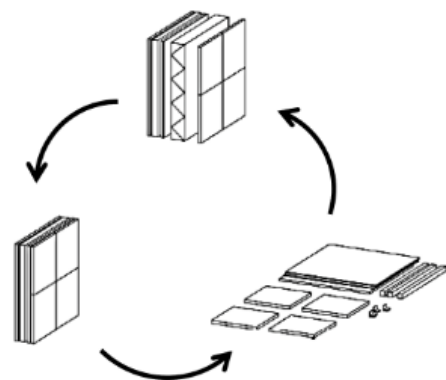


FIGURE 7: ASSEMBLAGE REVERSIBLE
SOURCE 7 : LICAR1801 – SOPHIE TRACHTE

Une conception réversible entraîne également des assemblages réversibles, tel qu'illustré à la figure ci-dessous.

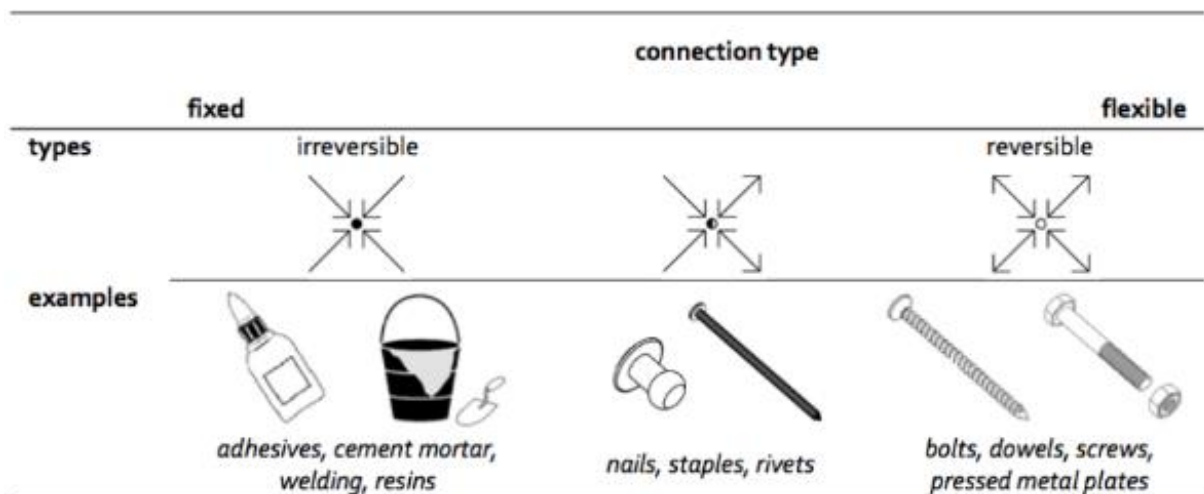


FIGURE 8 : ASSEMBLAGE REVERSIBLE
SOURCE 8 : LICAR1801 – SOPHIE TRACHTE

Pour conclure, construire de manière réversible permet donc de déconstruire plus efficacement, sans endommager les matériaux, ce qui permet d'obtenir plus d'éléments réemployés. Il est donc primordial de concevoir de manière circulaire pour garantir le réemploi et boucler la boucle de la circularité.

3) NORMES

Niveau européen

Le cadre réglementaire applicable au réemploi dans la construction est principalement établi à travers différentes directives et réglementations qui traitent les sujets tels que les déchets, les produits de construction, la gestion des ressources, l'économie circulaire et les marchés publics durables.

La directive 2008/98/CE, qui est une des directives qui a marqué un tournant important dans la gestion des ressources, également connue sous le nom de directive cadre sur les déchets, est une directive de l'Union européenne (UE) adoptée par le Parlement européen et le Conseil de l'UE en 2008, afin d'établir un cadre réglementaire commun pour la gestion des déchets au sein de l'UE, encourageant la prévention des déchets, la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matériaux, y compris dans le secteur de la construction.

La directive 2008/98/CE, dans son article 3, (U.E, 2008) a apporté des définitions telles que :

- « réemploi : toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus » ;
- « traitement : toute opération de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination » ;
- « valorisation : toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie. L'annexe II énumère une liste non exhaustive d'opérations de valorisation » ;
- « préparation en vue du réemploi : toute opération de contrôle, de nettoyage ou de réparation en vue de la valorisation, par laquelle des produits ou des composants de produits qui sont devenus des déchets sont préparés de manière à être réutilisés sans autre opération de prétraitement » ;
- « recyclage : toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage ».

Cette directive 2008/98/CE (U.E, 2008) définit et hiérarchise les actions autour du traitement des déchets, en se référant à l'échelle d'action de Lansink, tel qu'illustré à la figure ci-dessous.

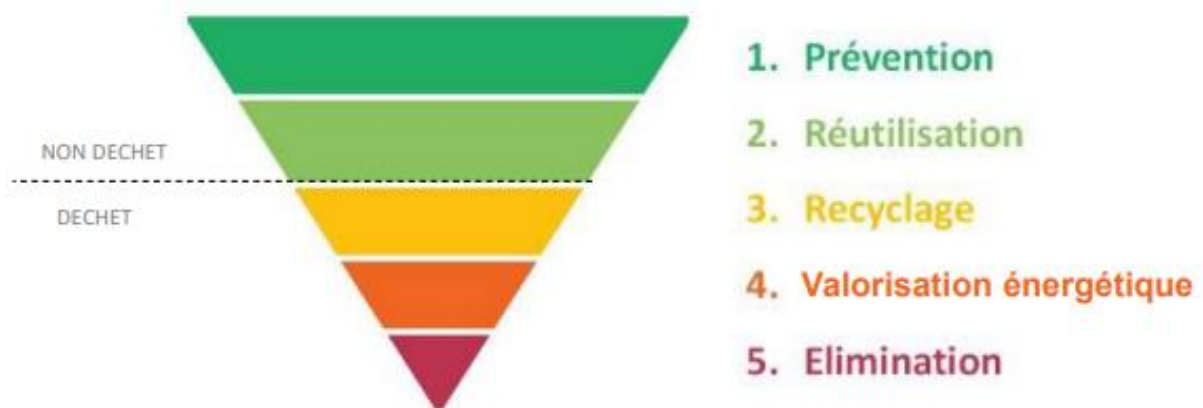


FIGURE 9 : ECHELLE DE LANSINK – HIERARCHISATION DES MODES ET TRAITEMENTS DES DECHETS

SOURCE 9 : BRUSSELS ENVIRONNEMENT – FORMATION BATIMENT DURABLE

Chaque pays membre de l'Union européenne est tenu de mettre en place des réglementations nationales spécifiques pour promouvoir le réemploi conformément à cette Directive 2008/98/CE, avec évaluation et réexamen tous les six ans et chaque État membre est tenu de communiquer un rapport sur la mise en œuvre de la directive tous les trois ans.

La commission Européenne a également publié diverses communications, dont la COM (2011) 571 final, qui se fixe des objectifs notamment avec la stratégie « Europe 2020 » en créant une feuille de route aspirant à « définir des objectifs à moyen et long terme, ainsi que les moyens d'y parvenir » dans le but de créer « Une Europe efficace dans l'utilisation des ressources » **(U.E, 20-09-2011)**. Cette feuille de route met en avant le fait de transformer nos déchets en ressources, notamment en ciblant des secteurs clés, dont celui de la construction.

Niveau belge

Depuis plusieurs années, une variété d'initiatives et de dispositifs ont vu le jour en Belgique, sur le plan Fédéral, pour tendre vers plus de circularité, et se conformer à la Directive 2008/98/CE, cela se traduit notamment en Wallonie avec le PWDR et Circular Wallonia.

En 2018, le Gouvernement wallon a approuvé le Plan Wallon des Déchets-Ressources (PWDR) proposé par le Ministre wallon de l'Environnement et de la Transition écologique. Le Plan wallon des déchets est une stratégie régionale de gestion des déchets en Wallonie qui encourage activement le réemploi pour réduire la production de déchets, promeut une économie circulaire et vise à encourager le développement de filières de réemploi. **(SPW, 22/03/2018)**

En 2021, le Gouvernement wallon a adopté Circular Wallonia, la première stratégie de déploiement de l'économie circulaire en Région wallonne. L'économie circulaire a pour objectif de produire des biens et services de manière durable en limitant la consommation, le gaspillage de ressources, la production de déchets et de favoriser l'écoconception, le réemploi, la réutilisation et le recyclage. **(SPW, 2021)**

Finalement, bien qu'il y ait une prise de conscience générale, que plusieurs fonds et organismes ont été lancés pour répondre aux défis de l'économie circulaire et que, malgré les objectifs à atteindre fixés par l'Union Européenne ainsi que par la Belgique en matière d'économie circulaire et de réemploi, à ce jour, il n'existe aucune norme concernant les matériaux de réemploi, tout comme il n'existe pas encore d'obligation et d'imposition par rapport à l'utilisation de matériaux de réemploi dans le secteur de la construction.

4) FREINS AU RÉEMPLOI

Dans le but de répondre aux différentes problématiques qui gravitent encore autour du réemploi, il est important d'identifier les manquements et les freins que rencontre l'utilisation de matériaux de réemploi avant et lors sa mise en œuvre.

Le projet BBSM, Bâti Bruxellois source de nouveaux Matériaux, qui sera décrit par la suite, a relevé, lors de la réalisation de son WP1 (workpackages) : l'état de l'art, toutes les barrières, telles que présentées à la figure ci-dessous, que pouvaient rencontrer les acteurs du secteur de la construction. Il s'avère, cependant, que les principaux freins rencontrés soient le critère de coût, le manque de connaissances des acteurs du domaine de la construction, le manque d'obligations ainsi que les contraintes liées aux performances et garanties. Ces points feront l'objet de sous points plus détaillés ci-dessous. **(Gobbo, 2014-2020)**

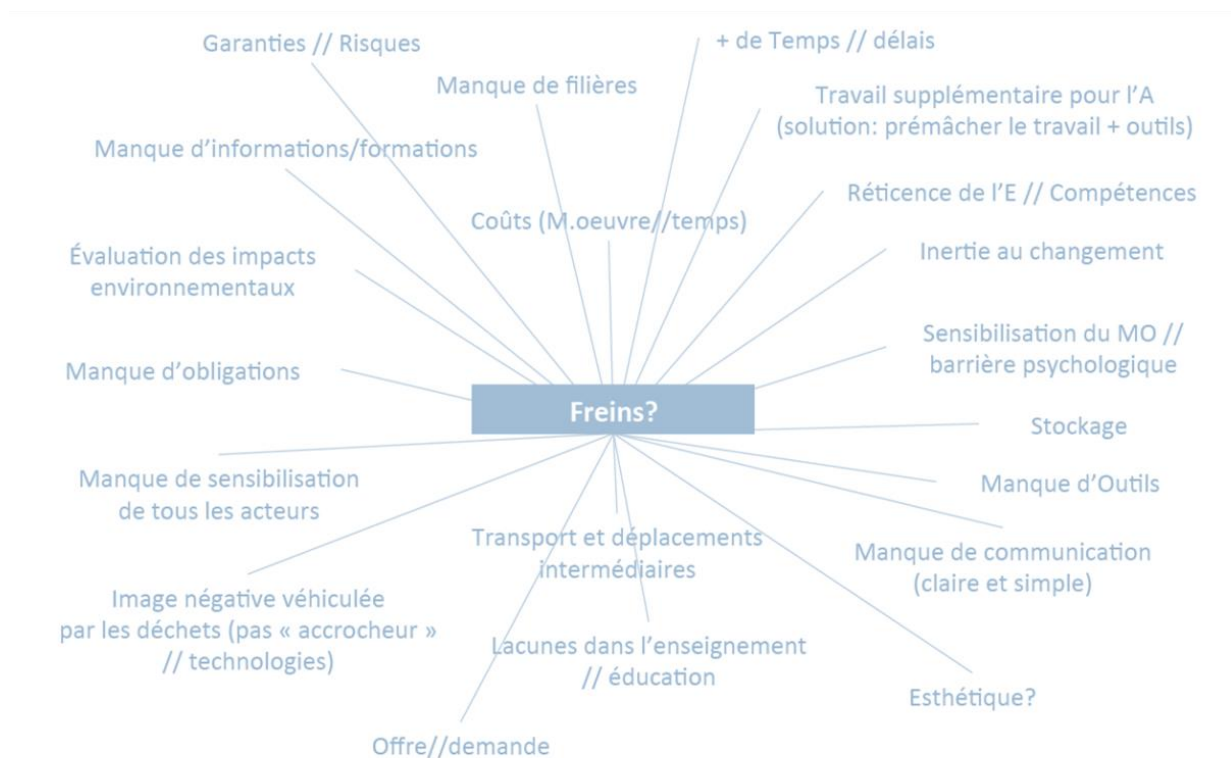


FIGURE 10 : BARRIERES ET FREINS DU REEMPLOI
SOURCE 10 : BBSM – WP1

Le coût

Le critère du coût est souvent le critère principal lors des prises de décisions. Or, le prix d'un matériau neuf ou réemployé varie notamment par rapport au type de matériau, mais également en fonction de l'offre et de la demande. L'aspect économique fera l'objet d'un prochain

chapitre. Cependant, un matériau de réemploi peut coûter plus ou moins cher qu'un matériau neuf en fonction de différents critères.

En effet, pour un matériau réemployé, dans le prix du matériau à proprement parlé, il faut considérer le prix de la main d'œuvre locale pour le démontage, le prix d'un transport éventuel, le coût d'une possible remise en état, le loyer d'un lieu de stockage, ainsi que le salaire des personnes chargées de la revente.

Comme le précise par ailleurs le BBSM dans le WP1, il faut aussi prendre en compte les coûts supplémentaires induits par le temps et la surcharge de travail engendrés entre autres par la recherche de matériaux de réemploi, ainsi que de la logistique de conception qui découlent des matériaux réemployés. **(Gobbo, 2014-2020)**

Le manque de connaissances

Le manque de connaissances reprend le manque d'informations ainsi que le manque de formations relatives aux matériaux de réemploi ainsi qu'à ces applications diverses et ceci pour tous les acteurs du domaine de la construction.

Le manque d'obligations

Comme énoncé précédemment dans le chapitre des normes, le manque d'obligation réglementaire actuel par rapport à l'intégration d'éléments réemployés ne favorise pas le réemploi. Incorporer des éléments de réemploi se fait actuellement sur base d'une démarche volontaire.

Les contraintes liées aux performances et garanties

Comme évoqué dans le chapitre des normes, la Commission européenne joue un rôle important dans l'harmonisation des normes techniques dans l'Union européenne. En ce qui concerne la construction, la Commission a mis en place un système de normes techniques appelé le marquage CE. Ces normes européennes de marquage CE sont élaborées par des comités techniques de normalisation, tels que le Comité européen de normalisation (CEN) et le Comité européen de normalisation électrotechnique (CENELEC). Le marquage CE, actuellement exclusivement réservé aux matériaux neufs, est obligatoire pour certains produits de construction dans l'Union européenne. Il indique que le produit est conforme aux exigences essentielles de santé, de sécurité et de protection de l'environnement définies dans les directives européennes applicables **(Buildwise)**.

Il n'existe donc pas encore de garantie ainsi que de certification pour les matériaux de réemploi. Il est donc difficile de connaître et de prédire les caractéristiques d'un matériau réemployé.

Pour contrer ce vide juridique, les auteurs de *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*, suggèrent de mettre en place un label réemploi pour rassurer les acheteurs sur les qualités des matériaux. Ils mettent également en avant les diffé-

rentes pistes pour y parvenir **(Ghyoot et al., 2018)**. Le BBSM a également abordé cette thématique dans le WP7, en collaboration avec Rotor et Buildwise, anciennement le CSTC, et décrit juste après, où ils proposent un système d'évaluation ad hoc des matériaux. **(Rotor, 2017)**

5) ORGANISMES EXISTANTS

Différents organismes ont été cités et le seront tout au long de ce travail. Ce chapitre est consacré à l'identification des organismes qui ont travaillé et travaillent sur la question du réemploi. Ceci permet de mettre en avant ce qui existe autour du réemploi, ainsi que les nombreux outils mis en place pour aider et encourager le réemploi afin d'aider les professionnels du secteur de la construction.

La liste des pratiques présentes qui s'articulent autour du réemploi est non exhaustive et peut être répertoriée en plusieurs catégories, à savoir, les pouvoirs publics, les financements ainsi que les centres de recherche.

5.1) Les pouvoirs publics

Bruxelles Environnement



Créé en 1989, Bruxelles Environnement est l'administration de l'environnement et de l'énergie en Région de Bruxelles-Capitale. Ses domaines d'activités recouvrent l'environnement au sens large, dont ceux touchant de plus près au réemploi tels que : la planification de la gestion des déchets, la production, la construction et la consommation durable, la lutte contre le changement climatique,...

L'administration est notamment présente pour sensibiliser, former, conseiller et soutenir les bruxellois, les entreprises et les institutions publiques pour les guider vers la transition environnementale et énergétique. De cette façon Bruxelles Environnement intervient directement dans la conception, l'aménagement et l'entretien du paysage urbain bruxellois tout en assurant des missions d'accueil, d'information et d'accompagnement des différents publics. **(Bruxelles-Environnement)**

SPW



Le Service public de Wallonie (SPW) propose différents types de financements pour encourager le réemploi dans la construction en Wallonie, avec :

- Des appels à projets pour soutenir des initiatives liées au réemploi dans la construction (exemples : "Économie circulaire dans la construction", "Déconstruction sélective et réemploi" ou encore « Innovation dans la construction durable »)

- Des subventions et aides financières pour soutenir des projets spécifiques liés au réemploi dans la construction qui peuvent couvrir une partie des coûts liés à l'acquisition d'équipements, à la mise en place d'infrastructures ou à la réalisation de travaux de recherche et développement dans le domaine du réemploi.
- Des fonds structurels européens : Le SPW gère également des financements provenant des fonds structurels européens, tels que le Fonds européen de développement régional (FEDER) et le Fonds social européen (FSE).
- Des aides à l'investissement : Ces aides peuvent prendre la forme de subventions ou de prêts à taux réduit pour soutenir les investissements liés au réemploi des matériaux de construction.
- Des aides à la déconstruction sélective dans le but de récupérer et de réutiliser des matériaux de construction. Ces aides peuvent couvrir une partie des coûts liés à la déconstruction sélective et à la collecte des matériaux réutilisables.
- Des aides pour la recherche et le développement dans le réemploi pour soutenir la recherche et le développement de nouvelles techniques, technologies et procédés liés au réemploi dans la construction, pour financer des projets de recherche, des essais pilotes ou des démonstrations de faisabilité

Et bien plus encore. **(SPW)**

5.2) Les financements

FEDER (ERDF) :



Le Fonds Européen de Développement Régional, FEDER constitue le levier financier de l'Union européenne pour mener à bien sa politique de cohésion et de développement régional. Autrement dit, le FEDER a pour objectif de réduire les disparités économiques, sociales et territoriales au sein des 28 Etats membres de l'Union européenne, en cofinçant des projets visant une croissance intelligente, durable et inclusive, telle que définie dans la « stratégie Europe 2020 ». Le règlement du FEDER définit des « périodes de programmation » de 7 années pour réaliser des projets dans les différentes régions d'Europe, plus 2 ou 3 années pour finaliser ces projets si nécessaire.

La Direction FEDER

En Région de Bruxelles-Capitale, le Gouvernement a fait le choix de constituer, au sein du Service public régional de Bruxelles, un département spécifiquement chargé de la gestion et de la coordination du Fonds.

Depuis fin 2019, la Cellule FEDER est devenue une direction à part entière au sein de la Direction Générale Brussels International, et assure la mise en œuvre et le suivi des programmes opérationnels. Il s'agit d'accompagner les différents porteurs de projets, d'assurer le suivi financier, budgétaire et administratif de la programmation et d'assurer également le premier niveau de contrôle des dépenses. C'est une équipe pluridisciplinaire qui en a la tâche.

La Direction FEDER est également le point de contact avec les institutions européennes et les acteurs régionaux et locaux, ainsi qu'avec les bénéficiaires de fonds et des homologues d'autres régions belges et européennes. **(FEDER)**

5.3) Les centres de recherches

BBSM



Le Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux. Le projet BBSM est financé par le FEDER, Fonds européen de Développement régional, (programmation 2014-2020) avec la participation de l'équipe de recherche « Architecture et Climat » de l'Institut LAB, dont la mission consiste à : « démontrer que les matériaux de fin de vie sont des ressources et que leur réintroduction dans un processus cyclique de production de « nouveaux » matériaux est positive pour le développement durable de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC) ». Le projet a pour objectif d'étudier et d'analyser le métabolisme urbain concernant le secteur de la construction en Région de Bruxelles-Capitale, dans le but d'identifier et d'encourager la création de boucles à valeur positive et de supprimer la notion de déchet. L'aboutissement final est de développer un outil permettant d'anticiper, de planifier, de gérer et d'exploiter de manière efficace les ressources matérielles locales constituées par le parc bâti et l'activité du secteur de la construction en Région de Bruxelles Capitale. Ce projet FEDER répond aux grands défis socio-économiques (gestion des ressources, renforcement et création de filières, création d'emplois...) de la région bruxelloise, il s'inscrit largement dans une démarche de développement durable et rejoint les objectifs d'économie circulaire encouragés par l'Europe et la Région de Bruxelles-Capitale à travers le PREC.

L'outil BBSM, disponible en ligne, a été développé afin d'aider le secteur de la construction bruxelloise à évaluer les flux et les stocks des matières générées par la construction. **(BBSM)**

FCRBE



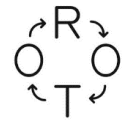
Le projet Interreg FCRBE « Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe » en français, faciliter la circulation des éléments de construction récupérés dans le nord-ouest de l'Europe, vise à augmenter de plus de 50% la quantité d'éléments de construction récupérés circulant sur ce territoire d'ici 2032. Pour répondre de manière appropriée à ces défis, le projet établit un partenariat international associant des organisations spécialisées, des associations professionnelles, des centres de recherche, une école d'architecture et des administrations publiques. Il se concentre au sein de territoires de la moitié nord de la France, de la Belgique et du Royaume-Uni ainsi que des Pays-Bas, de l'Irlande, du reste de la France et du Luxembourg avec une intensité moindre. Le projet fournira :

- Un annuaire en ligne qui documente plus de 1500 opérateurs spécialisés de réutilisation,
- Une méthode d'audit avant démolition des éléments réutilisables,
- Un ensemble de 4 méthodes de spécification innovantes pour les produits de récupération,
- Le développement d'une méthode de calcul pour le réemploi dans la construction,

- Et plus.

Au cours du projet, 37 opérations pilotes ont été menées, visant à favoriser la récupération et/ou la réutilisation de matériaux de construction. Ainsi, 140 tonnes de matériaux de construction ont pu être récupérées pour une réutilisation future et 186 tonnes ont pu être réutilisées dans des projets de construction et de rénovation dans toute l'Europe du Nord-Ouest.

(FCRBE)



Rotor

Rotor est une pratique de conception coopérative qui étudie l'organisation de l'environnement matériel. Elle développe des positions critiques par la recherche et la conception. Hormis des projets d'architecture et de design d'intérieur, elle produit également des expositions, des livres, des modèles économiques et des propositions politiques.

Rotor est le spécialiste sur la question du réemploi en Belgique principalement à travers des travaux de recherche. Mais elle est également présente pour la conception ainsi que l'aide à la conception auprès des architectes et commissaires notamment via des projets de design d'intérieur autour d'éléments récupérés ou d'aide à l'identification des éléments réutilisables dans un bâtiment existant ou encore l'aide à la recherche d'éléments récupérés appropriés pour divers projets de manière à maximiser l'intégration des éléments de construction récupérés.

La recherche est donc au centre des projets de Rotor orientés vers des sujets spécifiques tels que la durabilité, la circularité et l'économie matérielle.

En 2016, le projet spin-off Rotor DC a été lancé. C'est l'endroit pour acheter des éléments de construction récupérés. **(ROTOR)**

Buildwise



Buildwise, Anciennement appelé CSTC (Centre Scientifique et Technique de la Construction), est une plateforme numérique soutenue par les 3 régions et a pour but « d'aider les professionnels du secteur à améliorer la qualité, la productivité et la durabilité, et à ouvrir la voie à l'innovation sur les chantiers et dans les entreprises de construction. »

Buildwise collecte des données sur la performance énergétique des bâtiments en Wallonie telles que des informations sur la consommation d'énergie, les caractéristiques techniques des bâtiments, les installations techniques, les systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation, etc. Ensuite, Buildwise centralise ces données dans une base de données unique et homogène et enfin Buildwise offre un accès sécurisé aux données collectées aux différentes parties prenantes, telles que les propriétaires de bâtiments, les autorités publiques, les professionnels du secteur de la construction et les chercheurs. Cela permet aux utilisateurs autorisés de consulter les informations relatives à la performance énergétique des bâtiments et de les utiliser dans le cadre de leurs activités. Buildwise permet également le suivi et la surveillance des performances énergétiques des bâtiments au fil du

temps. Les données collectées peuvent être utilisées pour évaluer l'efficacité des mesures de performance énergétique, identifier les domaines nécessitant des améliorations et suivre les progrès réalisés dans la réduction de la consommation d'énergie des bâtiments. **(Buildwise)**

6) PLATEFORMES DU CIRCULAIRE

Ce chapitre est consacré à l'identification des plateformes proposant la revente de matériaux réemployés. Il existe plusieurs plateformes spécialisées dans la vente de matériaux de réemploi, dont certaines se sont développées par pays. Il ne faut pas non plus oublier les plateformes de revente de seconde main, telles que E-bay, 2^{ème} main et Market Place, qui ne ciblent pas uniquement des matériaux de réemploi et qui ne sont donc pas spécialisées dans ce domaine, mais qui sont connues par un plus grand public.

Enfin, à l'échelle de la Belgique, les plateformes les plus connues et spécialisées dans le secteur de la construction sont Opalis, Rotor DC et Cornermat. Elles seront reprises en détail après la présentation générale des plateformes principales, ci-dessous affichées par nom et logo.

Plateformes belges spécialisées dans la revente de matériaux de réemploi :



BATITERRE

Plateformes à l'étranger spécialisées dans la revente de matériaux de réemploi :



Autres plateformes de revente, non spécialisées dans les matériaux de réemploi, mais connues d'un plus large public :



Sources : (OPALIS), (ROTOR-DC), (CORNERMAT), (BATITERRE), (CYCLE-UP), (SALVO), (ebay), (2ememain)

OPALIS

Opalis est un site réalisé en 2019 par l'asbl Rotor dans le cadre du projet FCRBE. L'objectif est de faciliter l'intégration de matériaux réemployés dans des projets de construction. Opalis est bien plus qu'une unique plateforme de revente de matériaux et propose différentes rubriques.

Premièrement, le site Opalis met à la disposition de tous les visiteurs un annuaire d'opérateurs professionnels qui vendent des matériaux de réemploi provenant de la déconstruction. La plateforme permet dans un premier temps de présenter les revendeurs et leurs services via des fiches descriptives, avant de rediriger les visiteurs vers les sites des professionnels. En plus de fournir des matériaux, certains acteurs proposent également des services tels que la déconstruction, le nettoyage, des conseils, etc.

Deuxièmement, Opalis propose de la documentation technique sur les matériaux de construction couramment utilisés sur le marché du réemploi.

Troisièmement, une section du site est consacrée aux réalisations intégrant des matériaux de réemploi dans le but de mettre en avant ce qui existe et d'inspirer de prochaines constructions. Enfin, une rubrique documente et reprend des liens utiles pour toute personne désirant en apprendre davantage. **(OPALIS)**

ROTOR DC

Rotor Deconstruction & Consulting, Rotor DC, est une société coopérative qui découle de Rotor. Rotor DC a pour objectif de favoriser la réutilisation de matériaux de construction, tout en travaillant dans un esprit de coopération et de collaboration. Avec d'autres acteurs de la construction, Rotor DC essaie de devenir un élément central dans l'écosystème régional pour la réutilisation à grande échelle des matériaux de construction. Rotor DC assure différents rôles à savoir :

Premièrement, Rotor DC effectue des travaux de démontage et de récupération de matériaux de construction encore de bonne qualité.

Deuxièmement, Rotor DC traite, stocke et commercialise des éléments et des matériaux de réemploi via son site internet. Rotor DC dispose également d'un magasin physique situé à Evere. Initialement axé sur la revente des matériaux démantelés par ses propres ouvriers, le magasin commercialise désormais aussi des matériaux de plusieurs autres fournisseurs tels que des entrepreneurs en démolition et des sociétés immobilières. Rotor exige cependant des documents de propriété sur tous les matériaux qui transitent par leur magasin. **(ROTOR-DC)**

CORNERMAT

Cornermat est le service de revente de matériaux réemployés proposé par la société Retrieval. Sur leur site, ils proposent les éléments et matériaux de réemploi de qualité issus de leur travail quotidien de démontage et de récupération. Les enlèvements se font sur rendez-vous dans leur dépôt à Couillet ou Marcinelle. Enfin, leurs ventes sont couvertes par une garantie d'un an. **(CORNERMAT)**

7) OUTILS - TOTEM

Il existe plusieurs outils d'évaluation de l'impact environnemental tels que le bilan carbone, l'empreinte en eau, des bilans de matières, des analyses de cycles de vie ou encore des études d'incidences environnementales pour n'en citer que quelques-uns. **(P.Defourny, 2023)** Cependant, chaque outil possède ses propres spécificités et ils ne permettent pas tous d'obtenir des résultats globaux. De plus, ils peuvent être mis en œuvre, à peu près, dans n'importe quel secteur. Dans le domaine de la construction et à l'échelle de la Belgique, il n'existe qu'un seul outil qui permette d'évaluer l'impact environnemental. Il s'agit de Totem.

De ses initiales « Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials » soit, outil pour optimiser l'impact environnemental total des matériaux, TOTEM est un outil belge ayant pour but d'aider le secteur de la construction. Cet outil permet d'évaluer la performance environnementale de bâtiments et d'éléments de construction. **(Deproost, 2022)**

Concrètement, l'outil permet de modéliser aussi bien un élément, qu'un bâtiment **(Bruxelles-Environnement, 22/12/2021)**. Il est également possible d'introduire la nature de l'élément, à savoir neuf ou réemployé. Totem évalue ensuite l'impact environnemental de tous ces éléments en considérant toutes les étapes de l'analyse du cycle de vies (ACV) des matériaux utilisés d'après les normes EN 15804-A2 et EN 15978. **(Bruxelles-Environnement, 24/03/2022)** Le cycle de vie comprend quatre étapes principales, à savoir, la phase de production (A1-A3), la phase de construction (A4-A5), la phase d'utilisation (B1-B7) ainsi que la phase de fin de vie (C1-C4), tel qu'illustré ci-dessous.

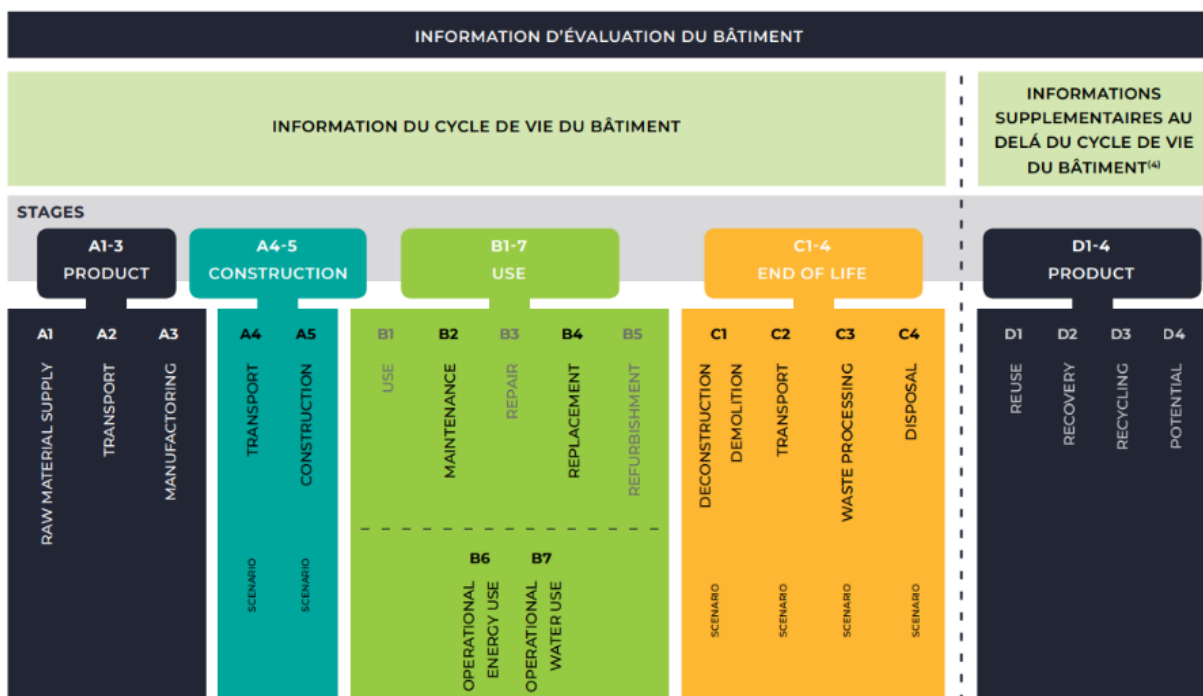


FIGURE 11 : PHASE DU CYCLE DE VIE DANS TOTEM ET LIMITES DU SYSTEME SELON LA NORME EUROPEENNE EN18978 :2011 (CEN2011A)

SOURCE 11 : LE GUIDE TOTEM – SPW, DEVELOPPEMENT DURABLE EN WALLONIE

Chacune de ces étapes, associée à la durée de vie d'un matériau, génère une série d'effets ayant un impact sur l'environnement. Pour chiffrer au mieux ces différents impacts, Totem considère une série d'indicateurs CEN et CEN+ préconisés par la norme EN15804 et illustrés ci-dessous. Enfin, les résultats permettent de comparer, d'objectiver et de réduire les impacts environnementaux.



FIGURE 12 : PANEL DES INDICATEURS D'IMPACT ENVIRONNEMENTAUX
SOURCE 12 : LE GUIDE TOTEM – SPW, DEVELOPPEMENT DURABLE EN WALLONIE

8) PRATIQUES ACTUELLES

D'après le projet FCRBE, il est estimé qu'actuellement, seulement 1% des éléments de construction est réemployé après sa première utilisation. Et ce, malgré le fait qu'une grande partie des éléments puissent techniquement être réutilisables. Ils finissent par être recyclés par broyage ou fusion, ou éliminés. **(FCRBE)** Cette proportion reflète bien le fait que l'utilisation de matériaux de réemploi est encore une pratique plutôt marginale dans le secteur de la construction.

Il est pourtant essentiel de se diriger vers le réemploi pour répondre aux enjeux actuels. L'objectif d'ici à 2032 du projet FCRBE est d'augmenter la quantité d'éléments de construction de récupération en circulation sur son territoire de + de 50% en masse. **(Morgane Deweerdt (CSTC), 2020)**

D'après le guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction, réalisé dans le cadre du projet FCRBE, le marché du réemploi représente un potentiel de croissance aussi bien en matière de volume traité qu'en gamme de matériaux de construction récupérés. Ce développement permettrait également la création de nouveaux emplois à une échelle plus locale. **(Morgane Deweerdt (CSTC), 2020)**

Avant d'aller plus loin, il est essentiel de savoir que le réemploi se distingue sous trois formes d'applications différentes au sein d'un projet. À savoir, le réemploi In-Situ, l'Extraction et le réemploi Ex-Situ, tel qu'illustré ci-dessous.

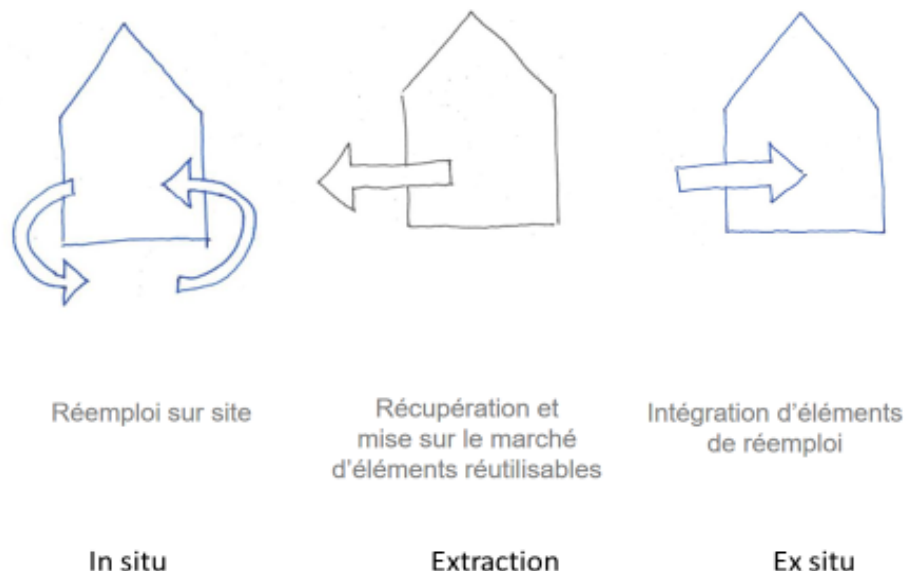


FIGURE 13 : LES TROIS APPLICATIONS DU REEMPLOI.

SOURCE 13 : ADAPTATION DU SCHEMA DE LA FORMATION EN BATIMENT DURABLE PROPOSEE PAR BRUXELLES ENVIRONNEMENT ET PRESENTEE PAR LIONEL BILLET.

La première forme de réemploi est le **réemploi in situ** à savoir le réemploi sur site. Il consiste à utiliser des matériaux ou des éléments présents sur le site, les extraire et les réutiliser sur le même site. L'in situ se réalise uniquement lors de travaux de rénovation.

La deuxième forme de réemploi est le **réemploi par extraction**. Il consiste à extraire des matériaux et des éléments présents sur un site, et qui peuvent être réutilisés sur d'autres sites, ou remis en circulation sur le marché du réemploi via la revente de matériaux sur les plateformes. L'extraction s'applique lors de travaux de rénovation d'un projet ou lors d'une déconstruction/démolition.





Enfin, la troisième forme de réemploi est le **réemploi ex situ** à savoir l'intégration de réemploi sur un site. Il consiste à importer sur un site, des éléments de réemploi issus d'un autre site. L'ex situ s'applique dans des travaux de rénovation ou dans de nouvelles constructions.

Afin d'appuyer l'utilisation de réemploi et dans l'objectif d'aller plus loin, il est primordial de faire l'état de ce qui existe et de ce qui se fait actuellement en matière de réemploi dans le secteur de la construction. Un petit échantillon de projets pilotes belges analysés par différents organismes sera présenté ci-dessous. Ces projets, pionniers en Belgique, seront classés selon les trois sortes de réemploi, à savoir l'in situ, l'extraction et l'ex situ. Ils seront repris dans un tableau général, permettant d'avoir une vision globale des projets et applications, avant d'être décrits en détails dans différents tableaux.

		In situ	Extraction	Ex situ
R E N O V A T I O N S	A P P L I C. S I M P L E	 Maison des Associations (B)	 Hertogensite (B)	 Pavillon Vanaudenhove (B)
		 Bureaux de bâtiment scolaire (B)	 Ecole vétérinaire (B)	
	A P P L I C A T I O N M U L T I P L E	 Quartz (B)	 Quartz (B)	
		 Institut de botanique ULG (B)		 Institut de botanique ULG (B)
		 Grange Grand-Pont (B)		 Grange Grand-Pont (B)
		 Abbaye Sainte-Gertrude (B)		 Abbaye Sainte-Gertrude (B)
		 Zinneke (B)	 Zinneke (B)	 Zinneke (B)
N O U V. C O N S T R U.	A P P L I C. S I M P L E			 Maison Vignette (B)
				 Musée du folklore (B)

Rénovation - In situ

  	<p>Nature des travaux : Rénovation en 2007, Marché public</p>
	<p>Réemploi appliqué : In situ</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : Maison des Associations à Esneux (B)</p>
	<p>Dimension du projet : /</p>
	<p>Projet analysé par : Opalis</p>
	<p>Site : https://opalis.eu/fr/projets/maison-des-associations-esneux</p>
	<p>Architecte : Atelier d'Architecture Alain Richard (AAAR)</p>
<p>Maitre d'œuvre : Entreprise générale Corman-Halleux G. & fils sprl.</p>	
<p>Description du projet : La maison des associations à fait face à une modification de programme, ce qui a abouti à des transformations du bâtiment. Le nouveau programme devait accueillir des ateliers, des espaces de réunions, une bibliothèque ainsi qu'une salle de spectacle. Tout ceci devait être intégré dans l'ensemble de bâtiments existants, et ce, 10 ans à peine après leur réalisation. Les matériaux présents sur le site présentaient encore de grandes qualités et avaient été mis en œuvre avec soin. Une grande partie des matériaux a donc été réemployée pour le nouveau projet.</p>	
<p>Matériaux réemployés : Tous les matériaux remis en œuvre proviennent du chantier :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 60m² d'ardoises de toiture et charpente préfabriquée - 90m² de plafonds modulaires acoustiques -37m² de carrelages -50 pièces d'équipements sanitaires et dévidoirs incendie -50 pièces d'équipements électriques -10 pièces de châssis acier à coupure thermique 	

	<p>Nature des travaux : Rénovation en 2019, Marché public</p>
	<p>Réemploi appliqué : In situ</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : Transformation des bureaux Takeda en bâtiment scolaire Karreveld à Bruxelles (B)</p>
	<p>Dimension du projet : /</p>
	<p>Projet analysé par : Opalis Site : https://opalis.eu/fr/projets?f%5B0%5D=type%3A321&f%255%0b1%5D=type%3A322</p>
	<p>Architecte : AgwA</p>
	<p>Maitre d'œuvre : JZ (TECHNICAL / STABILITY)</p>
	<p>Description du projet : Le bâtiment de bureaux Takeda a été transformé en école Karreveld. Les travaux de rénovation n'ont pas modifié l'enveloppe et la structure du bâtiment, mais se sont uniquement concentrés au réaménagement de l'intérieur. Le projet s'est réalisé en deux phases : premièrement la réaffectation du bâtiment (déjà réalisée) et deuxièmement, l'ajout d'un bâtiment complémentaire (en cours). La réalisation de ce projet s'est concrétisée sur base de la réutilisation de nombreux matériaux déjà présents sur le site, stockés sur place et réintégrés ensuite. Les matériaux de réemploi n'ont donc jamais quitté le site.</p>
	<p>Matériaux réemployés : Tous les matériaux remis en œuvre proviennent des bureaux existants :</p> <p>Phase 1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 450m² environ de cloisons en acier, panneaux stratifiés blancs, isolants acoustiques - 400m² environ de plafonds suspendus et luminaires (métal perforé et laine de roche) - Installations techniques ont été entièrement récupérées et ajustées - Isolation acoustique - La porte d'entrée a été conservée et les fenêtres et portes intérieures ont été récupérées <p>Phase 2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Systèmes de plafonds suspendus et luminaires - 300m² environ de murs intérieurs récupérés à la phase 1 - Second type de partitions récupérées - Appareils sanitaires existants et de cuisine - Composants électriques techniques

Rénovation - Extraction

   	Nature des travaux : Rénovation en 2021, Marché public
	Réemploi appliqué : Extraction
	Nom et lieu du bâtiment : Hertongensite à Louvain (B)
	Dimension du projet : XL
	Projet analysé par : FCRBE Site : https://vb.nweurope.eu/media/15788/37-po-summary-report_cv_low.pdf
	Architecte : /
	Maitre d'œuvre : Resiterra
Description du projet : Les bâtiments de l'ancien institut de pathologie et de chirurgie ont été rénovés et transformés en musée. Les travaux ont permis de trier et récupérer certains matériaux.	
Matériaux extraits : Les bâtiments possédaient une grande variété de matériaux en bon état. Ces matériaux ont pu être mis sur le marché et revendus : <ul style="list-style-type: none">- Carrelages, éviers, radiateurs, briques de verre, ...	




  	<p>Nature des travaux : Rénovation en 2013, Marché public</p>
	<p>Réemploi appliqué : Extraction</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : Ecole vétérinaire à Anderlecht (B)</p>
	<p>Dimension du projet : /</p>
	<p>Projet analysé par : Opalis et Rotor</p>
	<p>Site : https://opalis.eu/nl/projecten/veeartsenijschool-van-anderlecht</p>
	<p>Architecte : /</p>
	<p>Maitre d'œuvre : /</p>
	<p>Description du projet : Avant la rénovation de l'ancien bâtiment de l'école vétérinaire en 2013, une série d'éléments ont été récupérés, grâce à une vente publique.</p> <p>Les anciennes salles de classe offraient de nombreux meubles et équipements de laboratoire. La réutilisation et le recyclage maximal des objets et des matériaux dans le bâtiment ont été fortement encouragés et ont été réalisés selon une procédure stricte de tri des déchets.</p> <p>Des planchers, foyers, grilles métalliques, sièges d'auditorium et portes ont pu être revendus.</p> <p>Dans la même optique de réutilisation, le projet prévoit également la préservation et la restauration de certains éléments de grande valeur patrimoniale : planchers en mosaïque, escalier en marbre, garde-corps, cadres de fenêtres, fresques, etc.</p> <p>Grâce à ces actions, plus de 80% des matériaux du site ont pu être envoyés dans des filières de réemploi et de recyclage.</p>
	<p>Matériaux extraits :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 440m² Parquet - 60 portes - 4 Portes doubles - 15 rangées de sièges - Autres éléments de finition et meubles

Rénovation - Ex situ

 	Nature des travaux : Rénovation et extension en 2021-2022, Marché public
	Réemploi appliqué : Ex situ
	Nom et lieu du bâtiment : Pavillon Vanaudenhove à Bruxelles (B)
	Dimension du projet : Environ 300m ²
	Projet analysé par : FCRBE Site : https://www.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/#tab-5 https://vb.nweurope.eu/media/15775/pavillon_factsheet.pdf
	Architecte : V+ Maitre d'œuvre : /
Description du projet : <p>Bruxelles Environnement et la commune de Koekelberg ont décidé ensemble de faire rénover et agrandir un pavillon à Bruxelles par V+.</p> <p>Ce projet avait pour objectif d'intégrer un ou plusieurs lots de produits de construction récupérés. Un point d'honneur a été porté sur l'intégration de matériaux écologiques et durables laissant place à la spécification du réemploi dans les clauses techniques à établir.</p> <p>Les matériaux repérés et récupérés sur la plateforme Opalis sont des carreaux qui ont été utilisés pour le revêtement de sol des locaux des gardiens du parc Elisabeth.</p>	
Matériaux réemployés : Carreaux pour le revêtement de sol	

Rénovation – Application multiple

  	<p>Nature des travaux : Rénovation en 2013, Marché public</p>
	<p>Réemploi appliqué : In situ et extraction</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : Quartz à Bruxelles (B)</p>
	<p>Dimension du projet : Bâtiment de 10 étages d'un total de 16.637 m² sur un site de 1 893 m²</p>
	<p>Projet analysé par : BBSM</p> <p>Site : https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2021/06/bbsm-WP2-5DemolitionProjects-compressed.pdf</p>
	<p>Architecte : Polo Architects</p>
<p>Maitre d'œuvre : Cofinimmo</p>	
<p>Description du projet :</p> <p>Les bâtiments de bureaux Quartz ont été démolis pour être reconstruits avec une haute performance énergétique pour viser la certification environnementale BREEAM International NC 2013.</p> <p>Les travaux ont été réalisés avec une vision d'économie circulaire. La déconstruction a été sélective afin de maximiser le recyclage des déchets et de revaloriser un maximum d'éléments de valeur. Les matériaux sont réemployés sur site (47%) ou mis pour la vente hors site (53%) grâce à Rotor qui a fait l'inventaire. ROTOR choisit les éléments qui seront effectivement réemployés s'ils sont facilement vendables, à haute valeur et/ou en quantité importante. Plus de 97 % des déchets du chantier ont pu être recyclés contre 3% d'éléments jetés.</p>	
<p>Matériaux réemployés : Plus de 15 tonnes de matériaux réutilisables ont été démontés en vue du réemploi sur place et pour d'autres projets :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 85 portes - 116 plafond suspendu - 96 meubles de sanitaire - 116 luminaires - 847 quincaillerie - 50m² de bardage en bois - 70m² de carrelage de sol - Autres éléments (paravent, lance d'incendie, boîte aux lettres, etc.) 	

  	<p>Nature des travaux : Rénovation en 2018, Marché public</p>
	<p>Réemploi appliqué : In situ et ex situ</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : L'institut de Botanique de l'ULg à Liège (B)</p>
	<p>Dimension du projet : /</p>
	<p>Projet analysé par : Opalis</p>
	<p>Site : https://opalis.eu/fr/projets/linstitut-de-botanique-de-lulg</p>
	<p>Architecte : ULIEGE-ARI : Marique Anne-Françoise, Prégardien Michel en collaboration avec Bastin Lissette, Brogneaux Thibaut, Laruelle Sébastien, Nguyen Ngoc Luan</p>
<p>Maitre d'œuvre : G. Moury</p>	
<p>Description du projet :</p> <p>Le chantier de rénovation énergétique et patrimoniale de l'Institut de Botanique de l'ULiège s'est basé sur deux formes de réemploi :</p> <ul style="list-style-type: none"> - l'utilisation de matériaux de réemploi externes au chantier pour le bardage en bois et la réalisation d'une terrasse. - le réemploi issu de la déconstruction in situ du bardage métallique de la toiture et des dalles de béton pour l'aménagement de sol. Ainsi que de la remise en état d'infrastructures existantes. <p>Une des interventions les plus notables de ce projet est le travail qui a été accompli sur la façade. Pour des raisons énergétiques, elle a été isolée par l'extérieur (30 cm de laine minérale en façade), avec la mise en œuvre d'un bardage en bois de réemploi choisi pour différents aspects : sa texture fortement veinée, l'absence de maîtrise de la matière, de ses aspects esthétiques, sa valeur d'ancienneté (selon Aloïs Riegl) et sa durabilité. Ce bardage a été posé à la verticale pour sa tenue dans le temps, il est entrecoupé de lattes horizontales disposées suivant plusieurs entraxes pour donner plus de régularité à l'ensemble et éviter de devoir assembler bout à bout des planches hétérogènes.</p> <p>Utiliser des matériaux de réemploi nécessite de concevoir le projet en garantissant une souplesse de mise en œuvre, car c'est la matière qui dicte la composition.</p>	
<p>Matériaux réemployés :</p> <p>In situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 400 m² de bardage métallique de toiture - 120 m² de dalles de béton 60/60 - 50.000 m³ de réseau de ventilation <p>Ex situ</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2.600 m² de bardage de bois de réemploi - 140m² de planches pour la réalisation d'une terrasse extérieure 	

  	Nature des travaux : Rénovation en 2017, Marché privé
	Réemploi appliqué : In situ et Ex situ
	Nom et lieu du bâtiment : Grange Grand-Pont à Pry (B)
	Dimension du projet : /
	Projet analysé par : Opalis
	Site : https://opalis.eu/fr/projets?f%5B0%5D=type%3A321&f%5B1%5D=type%3A322
Architecte : Djâke	
Maitre d'œuvre : /	
Description du projet : <p>L'idée phare de la rénovation de cette grange a été de conserver son caractère. Cela a évidemment amené l'architecte et les entrepreneurs à réutiliser des éléments préexistants récupérés lors de rénovations précédentes du bâtiment. Pour accentuer le caractère de la grange, ils ont décidé d'y incorporer d'autres éléments de réutilisation fournis par des professionnels. Le choix des matériaux et donc des fournisseurs a facilité la description des matériaux déjà bien connus et l'élaboration du dossier de mise en œuvre.</p> <p>Les contractants ont présenté des prix distincts pour la fourniture et pour l'emplacement des éléments de réutilisation, pour faciliter les cotations de prix. Pour que les choix puissent être faits directement avec les fournisseurs de matériaux de réutilisation, plusieurs visites ont été organisées avec le client.</p>	
Matériaux réemployés : <p>In situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 110 m² de pierres de fracture de parement récupérées lors de travaux de démolition - 27m² de carrelage en pierre bleue récupérés lors de travaux de démolition <p>Ex situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 5 Seuils de couronnement en pierre bleue - 19 marches en pierre bleue - 127 m² de pavés en grès - 12m² de briques 	



Nature des travaux : Rénovation en 1919 et 1981

Réemploi appliqué : In situ et Ex situ

Nom et lieu du bâtiment : Abbaye Sainte-Gertrude à Louvain (B)

Dimension du projet : /

Projet analysé par : Opalis

Site : <https://opalis.eu/fr/projets?f%5B0%5D=type%3A321>

Architecte : Armand Thiéry

Maitre d'œuvre : Inconnu

Description du projet :

L'abbaye Sainte-Gertrude à Louvain est un ensemble remarquable de bâtiments qui a été complètement détruit pendant la Première Guerre Mondiale. Après la guerre, le chanoine et architecte Armand Thiéry rachète l'abbaye et décide de reconstruire l'ensemble du complexe.

Pour le faire, il crée une façade néogothique éclectique en combinant les pierres bleues datant du 16 et 17ème siècle constituant l'abbaye avec les débris issus du bombardement des bâtiments du centre-ville de Louvain. Cette combinaison de matériaux et de styles est l'une des plus remarquables restaurations jamais entreprises en Belgique.

Les espaces intérieurs ont naturellement aussi été dégradés et réaménagés par la suite avec les meubles qui ont survécu aux flammes et bombardements de la guerre.





En 1981, l'architecte Paul Van Aerschot réaménage une aile en logements. Le grand changement de la façade se voit aux châssis colorés. Ils détournent quelque peu l'attention de la grande disparité de la façade, cependant, le travail de Armand Thiéry avec les fragments des bombardements reste visible et considérable.

Matériaux réemployés :

- Réemploi de débris de bâtiment après-guerre tel que de la pierre bleue,..
- Mobilier présent restauré

	Nature des travaux : Rénovation 2017 à 2021, Marché public
	Réemploi appliqué : In situ, extraction et ex situ
	Nom et lieu du bâtiment : La Zinneke à Bruxelles (B)
	Dimension du projet : 3000m ²
	Projet analysé par : Plateforme des Acteurs pour le Réemploi des Éléments de Construction
	Site : http://www.reemploi-construction.brussels/news/article/la-zinneke/
	Architecte : Ouest Architecture
	Maitre d'œuvre : Asbl Zinneke
	<p>Description du projet :</p> <p>La Zinneke, développé dans le cadre du programme FEDER, est un projet d'extraction et intégration in situ et ex situ de matériaux de réemploi en provenance de chez Rotor. Ce projet a voulu sortir de la rénovation traditionnelle en intégrant des principes circulaires à un projet commun.</p> <p>Sa rénovation s'est basée sur plusieurs objectifs :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le maintien du bâti existant, en conservant un maximum la structure. - La réutilisation de matériaux dans le projet autant dans l'extraction que dans l'intégration (in situ et ex situ). - La réversibilité de la conception du projet. - La sollicitation de l'équipe de la Zinneke dans les travaux. <p>Les matériaux réemployés sont soit à l'initiative du maître d'ouvrage, soit de l'entrepreneur et parfois du concepteur. Leur intégration au projet s'est donc complétée tout au long du projet jusqu'à maintenant.</p>
	<p>Matériaux réemployés :</p> <p>In situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Briques de certains murs - La porte de l'atelier acier et bois lamellé-collé - Parquet utilisé pour les meubles, la porte principale et la cheminée <p>Extraction :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Plancher en chêne massif - L'escalier de la cour intérieure <p>Ex situ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Isolant, étagères en bois, porte coupe-feu et vitres pour la cafétéria - 30 fenêtres de types complètement différents - La ventilation

Nouvelle construction– Ex situ

	<p>Nature des travaux : Construction en 2020, Marché privé</p>
	<p>Réemploi appliqué : Ex situ</p>
	<p>Nom et lieu du bâtiment : Maison Vignette à Auderghem</p>
	<p>Dimension du projet :</p>
	<p>Projet analysé par : Opalis et Bruxelles environnement</p> <p>Site : https://opalis.eu/fr/projets?f%5B0%5D=type%3A320</p> <p>Et https://www.guidebatimentdurable.brussels/construction-dune-maison-unifamiliale-paille-projet-vignette</p>
	<p>Architecte : Karbon' architecture & Urbanisme</p>
	<p>Maitre d'œuvre : Gauthier Nagant, 3ALJ Construct</p>
	<p>Description du projet :</p> <p>Le projet est une nouvelle construction d'une maison unifamiliale mitoyenne. La maison se constitue de deux volumes organisés autour d'un patio. La maison a été conçue avec un maximum de matériaux peu transformés ou de sources renouvelables. Sa structure se constitue de poteaux et de poutres en bois remplis de ballots de paille. Les murs intérieurs sont en de blocs de béton de chanvre et de chaux et sont enduits par un plâtre naturel.</p> <p>De nombreux éléments de construction sont également réemployés. Le matériau le plus représentatif de la maison vignette est la façade à claustra en briques. Elles ont été fournies par un négociant en briques de réemploi local. Un surplus de briques a été mis à profit pour réaliser le petit escalier extérieur du jardin. D'autres éléments de construction de réemploi ont été mis en œuvre dans le projet : des carreaux de carrelage, des dalles de sol en pierre bleue et des équipements sanitaires.</p> <p>La Maison Vignette combine matériaux éco-responsables locaux et matériaux de réemploi. Elle illustre l'éventail des possibilités pour diminuer l'impact environnemental des projets.</p>
	<p>Matériaux réemployés :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 3 000 briques Large Boomse Steen (36m²) - 21m² de carrelage mural issus du bâtiment Solvay - 13,5m² de carrelage sol, terre cuite - Éviers, vasques et évier d'atelier - 40m² de dalles en pierre bleue



Nature des travaux : Construction en 2017, Marché public
Réemploi appliqué : Ex situ
Nom et lieu du bâtiment : Musée du folklore à Mouscron (B)
Dimension du projet : /
Projet analysé par : Opalis
Site : https://opalis.eu/fr/projets?f%5B0%5D=type%3A320
Architectes : V+ et Simon Boudvin
Maitre d'œuvre : Interconstruct – Dherte
Description du projet : <p>Le nouveau Musée du folklore de la ville de Mouscron a utilisé des briques de récupération pour la façade. Ces briques font partie intégrante du projet. Le principe consistait à consacrer 1% du budget d'un projet public à une œuvre d'art. Les architectes du bureau V+ et l'artiste Simon Boudvin ont décidé d'utiliser une grande quantité de briques récupérées de la démolition de bâtiments représentatifs du patrimoine bâti de Mouscron (fermes, entrepôts, cinéma, monastère, etc.) pour la nouvelle façade du musée. La façade a dès lors un lien étroit avec l'histoire de la région.</p> <p>Pour la réalisation du projet, les architectes ont conçu la façade en fonction des différents types de briques choisis par l'artiste dans une société de récupération de la région. Le bureau de stabilité a proposé de mélanger les briques de récupération avec des briques neuves dans un rapport d'un quart / trois quarts pour simplifier les calculs de stabilité et de réduire les tests supplémentaires.</p> <p>Pour unifier l'ensemble, la façade a été peinte en blanc et seule la texture des briques les différencie : sur les nouvelles briques, la peinture est lisse, alors que sur les briques de récupération, elle est plus rugueuse.</p>
Matériaux réemployés : <p>- 28 500 briques fournies par Westvlaamse Steencentrale NV (34m³)</p>

Cette série d'exemples, non exhaustive, cependant largement représentative des projets existants, illustre les différentes applications de réemploi réalisées en Belgique actuellement. Bien que ces édifices se situent essentiellement en Belgique, plusieurs projets, encadrés par la FCRBE, intégrant des éléments de réemploi, ont vu le jour en France, aux Pays-Bas et en Angleterre.

Plusieurs de ces projets, réalisés relativement récemment, ont vu le jour en partie grâce aux différents organismes, tels que présentés plus haut. Il était donc primordial de créer ces différents organismes pour lancer des projets pilotes dans l'objectif de se diriger vers une économie circulaire. Comme en témoignent ces exemples, l'utilisation de matériaux de réemploi touche tous les secteurs, aussi bien le secteur tertiaire, mis en place grâce aux différents organismes présentés plus haut, que le secteur des habitations privées, ressortant plutôt d'une initiative personnelle.

Bien que l'exemple de l'Abbaye Sainte-Gertrude à Louvain ne soit pas un exemple actuel, ce projet prouve bien qu'à l'époque, intégrer du réemploi avec ce que l'on avait à disposition était une pratique tout à fait courante et réalisable. Ce bâtiment montre également qu'il est possible de créer des bâtiments alliant une conception architecturale tout en intégrant des matériaux de réemplois capables de perdurer.

Cet échantillon d'exemples met en évidence le fait que, même si l'application de réemploi ne concerne qu'un petit pourcentage de l'ensemble du bâtiment, le réemploi commence tout doucement à se mettre en place lors de travaux de rénovations, notamment, car ceux-ci s'inscrivent dans une démarche de réhabilitation d'un bâtiment et donc déjà dans une optique de seconde vie. Tandis qu'il existe, au final, très peu de constructions neuves ayant intégré des éléments de réemploi. Les seuls exemples trouvés et sélectionnés sont la maison Vignette qui est un logement privé et Musée du folklore à Mouscron. Cependant, l'utilisation de matériaux de réemploi dans ces constructions reste assez limitée et les documents d'analyse de ces projets ne permettent pas d'évaluer le taux exact de réemploi intégré. Pour le Musée du folklore, seules quelques briques de façade sont réemployées. En plus, ceci s'intègre plutôt dans un contexte artistique que dans une réelle démarche d'utilisation de réemploi. Au final, la maison vignette est l'exemple de construction neuve qui intègre le plus d'éléments de réemploi, néanmoins sans donner d'information exacte sur le taux de matériaux neufs et réemployés.

9) MATÉRIAUX RÉEMPLOYÉS AUJOURD'HUI

Ce point met en évidence les matériaux de réemploi qui sont le plus utilisés actuellement, ainsi que les raisons de ces priorisations. En effet, d'après le FCRBE, dans son document *Statistical Analysis*, publié en 2021 (**Frédéric Bougrain et Mathilde Doutreleau, 2018-2022**), il est affirmé que les cinq matériaux principaux détenus par les concessionnaires parmi les matériaux récupérés, définis en fonction de la présence de ces matériaux dans leur stock et non en termes de quantité, sont :

1. Les portes, les charpentes en bois (39%)
2. Les ardoises, les tuiles et revêtements muraux (34%)
3. Les fenêtres (32%)
4. Les briques (25 %)
5. Les parquets et les planchers en bois (24%)

Ces résultats sont également le reflet des différentes actions de priorisation des matériaux de réemploi. Effectivement, selon le SPW, dans son document, publié en 2019, *Priorisation des matériaux de réemploi, prescription et recommandations*, un travail a été réalisé pour établir une liste des critères utilisés pour la priorisation des éléments de construction de réemploi.

Cette liste s'articule selon différents critères tels que la facilité de démontage, la facilité de remise en œuvre, la modularité, le stockage (in situ), la quantité en place, l'offre actuelle, la localisation, l'impact environnemental de production et le niveau d'exigence performancielle. Ces critères se voient attribuer une note entre zéro et trois en fonction de la difficulté ou de la facilité à répondre au critère. Finalement, le score final est classé par ordre décroissant dans le tableau suivant. Les éléments les plus facilement réemployables se situent donc en première position, tandis que les matériaux plus difficilement réemployables se positionnent en dernier dans le classement (**SPW, 09/2019**).

Classement par ordre décroissant de la note totale

Tomes du CCT-B	Nom courant	Référence CCTB	Note	Facilité									NOTE FINALE
				démontage	remontage	Modularité	Stockage	Occurrences	Offre actuelle	Localisation	Impact production	Exigence perf.	
			Pondération	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	1-3	0-3	0-3	
5	Quincaillerie : ferme-portes, poignées, arrêts de porte, etc.	41.72 Quincailleries 55.62 Quincaillerie complémentaire ou particulière		3	3	3	2	3	3	3	1	3	31,5
9	Klinker / Pavé autobloquant	93.16.2 Pavés en béton 93.16.4a Pavés de réemploi		3	3	3	3	1	3	3	2	3	31,5
9	Dallage en pierre pour aménagements extérieurs	93.13.1 Dalles en pierre naturelle 93.13.5 Dalles de réemploi		3	3	2	3	1	3	3	1	3	29,5
3	Tuiles en terre cuite	34.11.1 Tuiles en terre cuite		2	2	2	3	2	3	3	2	3	29
5	Portes intérieures	55.2 Portes intérieures		2	2	2	2	3	3	3	2	3	29
5	Parement mural en céramique	51.61 Revêtements muraux en carreaux en céramique		2	2	2	3	3	3	2	2	3	29
5	Dalles de moquette	53.55.1a Revêtements de sols souples en textile - Tapis plain, etc. 53.55.3d Revêtements de sols souples plastiques et synthétiques - Tapis plain		3	3	3	2	3	1	2	3	3	28,5
9	Dalles terrasse en béton	93.13.2 Dalles en béton préfabriqué 93.13.5 Dalles de réemploi		3	3	3	3	1	2	2	2	3	28,5
4	Portes	41.2 Portes d'entrée		2	2	2	2	3	3	3	1	3	28
5	Revêtement de sols intérieurs en carreaux de céramique	53.51 Revêtements de sols en carreaux de céramique		2	2	2	3	3	3	3	2	2	28
6	Lavabos	65.32.3 Lavabos		2	2	3	2	3	2	3	2	3	28
2	Panneaux isolants	26.4 Isolation 26.41 Isolation en panneau		2	3	3	2	3	1	3	3	2	27
2	Maçonneries en briques	21.11.1c Maçonneries portantes en briques de terre cuite de réemploi 21.21.1c Maçonneries non portantes en briques de terre cuite de réemploi 21.31.1c Maçonneries de parement en briques de terre cuite de réemploi		2	1	2	3	2	3	3	2	3	27
3	Panneaux isolants	32.41 Isolation en panneaux		2	3	3	2	3	1	3	3	2	27
5	Isolation intérieure de paroi	52.41.1 Isolation en panneaux - matières synthétiques		2	3	3	2	3	1	3	3	2	27
5	Isolation intérieure de paroi	52.41.2 Isolation en panneaux - matières minérales		2	3	3	2	3	1	3	3	2	27
6	Vidoirs	65.32.8 Vidoirs		2	2	3	2	2	2	3	2	3	27
9	Pavés de pierre naturelle pour abords	93.16.4a Pavés de réemploi		2	2	2	3	1	3	3	1	3	27
3	Charpentes et voligeages en bois	31.3 Eléments de structure et de support de toiture en bois		1	2	2	2	3	2	3	2	3	26,5
5	Tablettes de fenêtre	55.61 Tablettes (de fenêtres et autres)		2	2	1	2	3	3	2	1	3	26
7	Luminaires	74.1 Luminaires intérieurs 74.2 Luminaires extérieurs		2	2	3	2	3	2	3	2	2	26
2	Seuils en pierre naturelle	21.36.1a Seuils en pierre		1	1	2	3	2	3	3	1	3	25,5
5	Revêtement de sols intérieurs en pierre naturelle	53.52 Revêtements de sols en pierre naturelle		1	2	2	3	2	3	3	1	2	25,5
7	Interrupteurs	72.23.3j Interrupteurs et boutons poussoirs-généralités		3	2	3	2	3	2	3	1	2	25,5
7	Prises	72.23.1 Prises de courant - généralités		3	2	3	2	3	2	3	1	2	25,5
2	Couvre-murs	21.36.5 Couvre-murs		2	2	2	3	1	2	3	1	3	25
3	Ardoises naturelles	34.12.1a Ardoises naturelles		2	2	2	3	1	2	3	1	3	25
3	Tuiles béton	34.11.2 Tuiles en béton		2	2	2	3	1	1	3	3	3	25
4	Bardage extérieur en bois	43.23.2 Revêtements de façade rigides fixés mécaniquement - bardeaux en bois		2	2	2	2	1	3	1	2	3	25
5	Revêtement de sols intérieurs en bois massif	53.56 Revêtements en bois massif		2	2	2	2	1	3	1	2	3	25
9	Revêtement de terrasse en bois (teck, azobé, steenschotten, etc.)	93.15.3a Revêtement en bois de réemploi		2	3	2	2	1	3	1	2	2	25
2	Moellons en pierre naturelle	21.13 Maçonneries portantes en pierre		1	1	2	3	1	3	3	1	3	24,5
5	Plafonds suspendus	54.31.4 Plafonds suspendus - Parement en lames/plaques/panneaux métalliques		3	2	2	2	2	1	2	3	3	24,5
5	Portes en verre	55.26.1 Portes intérieures en verre		2	2	2	2	2	2	3	2	2	24
7	Chemins de câbles	72.22.4h Conduites - chemins de câbles		2	1	3	3	2	1	3	2	3	24
5	Vitrages intérieurs	55.1 Fenêtres intérieures		1	1	2	2	2	2	3	2	3	23,5
5	Mains courantes	57.26 Main-courantes / Lisses		3	2	1	2	3	1	3	1	3	23,5
5	Plancher technique	53.41 Planchers surélevés amovibles		2	2	3	2	2	1	2	3	2	23
6	Radiateurs	63.33.1 Eléments de chauffage & accessoires - radiateurs		1	1	1	2	3	2	3	3	2	22,5
6	WC suspendus	65.32.1b Cuvettes de W-C - suspendues		1	1	3	2	2	1	3	2	3	22,5
6	Urinoirs Suspendus	65.23.9a Urinoirs - modèle suspendu / porcelaine sanitaire		1	1	3	2	2	1	3	2	3	22,5
5	Parquet laminé finition bois	53.57.3 Revêtements en bois contrecollés, multicouches ou en panneaux - Couche d'usure en matériaux composites à base de bois		2	3	2	2	1	1	2	2	2	22
5	Parquet stratifié	53.57.3 Revêtements en bois contrecollés, multicouches ou en panneaux - Couche d'usure en matériaux composites à base de bois		2	3	2	2	1	1	2	2	2	22

Suite du tableau :

Tomes du CCT-B	Nom courant	Référence CCTB	Note Pondération	Facilité démontage	Facilité remontage	Modularité	Stockage	Occurrences	Offre actuelle	Localisation	Impact production	Exigence perf.	NOTE FINALE
				0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	0-3	1-3	0-3	0-3	
5	Parement mural en pierre naturelle	51.62 Revêtements muraux en carreaux en pierre naturelle	0,5	1	1	2	3	1	2	2	1	3	21,5
7	Détecteur de présence	72.24.1a Détecteurs de passage		3	2	3	2	1	1	2	1	2	20,5
4	Panneaux HPL (trespa)	43.24.2c Panneau en stratifié décoratif haute pression (HPL)		2	1	1	3	0	1	2	3	3	20
4	Gardes corps terrasse / Main courante	45.12 Garde-corps / rampes sur mesure		2	2	1	3	1	1	3	1	2	20
5	Cloisons intérieures non-vitrées	51.3 Cloisons à système démontables et amovibles (particulières)		2	1	1	2	2	1	2	2	3	20
9	Dalles béton/gazon	93.17 Revêtement divers		0	2	3	3	0	0	2	2	3	20
4	Châssis de fenêtre	41.1 Fenêtres et portes-fenêtres		1	1	0	2	3	2	3	3	1	19,5
5	Cloisons intérieures non-vitrées	51.1 Cloisons fixes légères de séparation		2	2	0	2	1	1	1	2	3	19
5	Cloisons intérieures non-vitrées	51.2 Cloisons fixes légères de doublage (et lambris)		2	2	0	2	1	1	1	2	3	19
7	Eclairage de secours	74.4 Equipements - Eclairage de secours		3	1	3	2	3	1	2	1	1	18,5
5	Porte coupe-feu	55.2 Portes intérieures		2	1	2	2	2	1	3	2	1	18
4	Portes de garage et industrielle	41.3 Portes de garage et industrielles - manuelles ou motorisées		1	1	1	2	2	1	2	1	2	16,5
2	Profils de structure en acier	23.1 Eléments de structures métalliques		0	1	1	2	1	2	3	3	0	16
2	Ossature et charpentes en bois	24.1 Eléments de structures en bois		0	1	1	2	2	2	3	2	0	16
4	Escaliers/plateforme extérieurs métalliques	45.11.3 Escaliers métalliques > renvoi au § 23.31		0	1	0	3	0	1	3	2	2	16
7	Boutons poussoir (alarme)	72.23.3j Interrupteurs et boutons poussoirs-généralités		3	1	3	2	2	0	2	1	1	15,5
9	Equipement aménagement extérieur (mobilier urbain)	96.2 Equipements et mobilier urbain		2	2	0	3	1	0	2	1	1	14
3	Panneaux sandwichs	31.22.2 Panneaux sandwich		0	1	0	2	1	1	1	3	1	13
4	Façades rideau vitrée	31.34.5 Panneaux autoportants et isolants		0	0	0	2	0	0	1	3	0	6
		41.4 Systèmes de façades		0	0	0	2	0	0	1	3	0	6

FIGURE 14 : TABLEAU DES ELEMENTS PRIORITAIRES POUR LES ELEMENTS DE REEMPLOI
SOURCE 14: DEVELOPPEMENT DURABLE EN WALLONIE CCTB

Ce tableau permet donc de voir rapidement quels sont les matériaux qui sont réemployables plus facilement et plus difficilement.

Force est de constater que de manière générale, les matériaux ayant obtenu un score élevé et donc facilement réemployables correspondent aux éléments décrits précédemment dans le top cinq des matériaux principaux détenus par les concessionnaires de matériaux récupérés. Ceci prouve donc bien que les matériaux présents en plus grande quantité sur le marché du réemploi correspondent donc aux matériaux plus aisément réemployables, c'est-à-dire qui répondent aux différents critères tels que la facilité de démontage et de remontage, de modularité de stockage, etc, évoqués préalablement.

En revanche, en général, les matériaux ayant obtenu un faible score et se retrouvant dans le bas du classement, sont des matériaux difficilement réemployables selon les critères évoqués plus haut. Or le faible score obtenu en résultat final provient principalement d'un résultat fort bas pour le critère de démontage. Ceci est en partie dû aux constructions actuelles dites « classiques » et peu réversibles. Il est donc essentiel de concevoir de manière plus réversible pour obtenir plus de matériaux de réemploi sur le marché ainsi qu'un meilleur score en démontabilité.

10) DÉMARCHE FAVORABLE À LA CONCEPTION CIRCULAIRE

Dans le but d'intégrer des matériaux de réemploi au sein d'un projet et de favoriser une conception circulaire de façon à boucler la boucle, il est primordial de fonctionner à « l'envers » par rapport au mode de fonctionnement actuel qui consiste à concevoir et ensuite rechercher les matériaux correspondant à cette conception. Il est essentiel d'adopter une attitude de glanage avant de concevoir un projet.

Le glanage, c'est l'action de recueillir et de récupérer des éléments de ça et de là, pour en tirer parti (**Larousse**). Cette démarche est très bien expliquée par le bureau d'architecture Superuse-Studio qui, comme illustré à la figure ci-dessous, préconise, avant de designer un projet, de d'abord regarder les matériaux de réemploi disponibles proches du projet, et d'augmenter au fur et à mesure l'échelle géographique des recherches en fonction des besoins du projet. La conception n'est donc pas considérée comme le début d'un processus linéaire, mais plutôt circulaire (**SUPERUSE-STUDIO**).

Cette démarche est d'autant plus évidente lors de la conception d'une construction neuve, car les dimensions sont en général moins figées par rapport à un projet de rénovation.

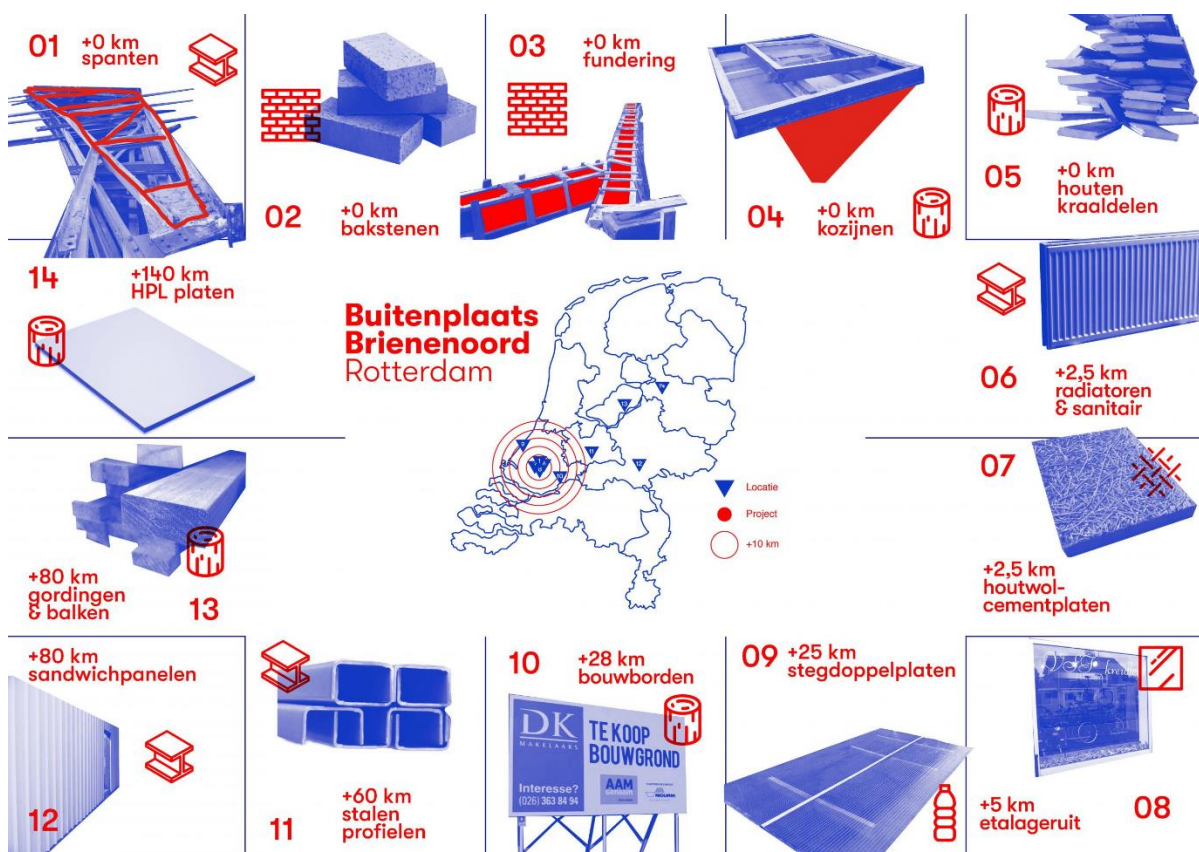


FIGURE 15 : DEMARCHE FAVORABLE A LA CONCEPTION CIRCULAIRE
SOURCE 15 : SUPERUSE-STUDIO

11) BILAN

Cet état de l'art a permis et de mettre en avant ce qu'il existe et ce fait actuellement en matière de réemploi. Notamment via les différents organismes, cités plus haut, qui ont travaillé sur la question du réemploi, ainsi que les projets pilotes mis en place. Ceci dans le but de répondre aux freins rencontrés lors de l'utilisation de réemploi.

Cependant, cet état des lieux fait également ressortir le manque d'informations et de formations autour du réemploi, et ce, dans tous les secteurs. L'absence de normes sur les matériaux de réemploi ainsi que l'absence d'obligations relatives à l'utilisation de matériaux réemployés portent aussi préjudice à l'intégration d'éléments réutilisés. En effet, l'utilisation de matériaux de réemploi au sein d'un projet, provient pour l'instant d'une démarche personnelle. Par ailleurs, à l'échelle de projets privés, et pour des maîtres d'ouvrages n'étant pas familiarisés avec le domaine de la construction, le manque de positionnement de la part des architectes ne favorise pas l'utilisation de matériaux de réemploi.

L'absence de certains matériaux de réemploi sur les plateformes et le manque d'informations relatives aux matériaux sur ces mêmes plateformes, ne permettent pas toujours d'obtenir le taux de réemploi initialement souhaité dans un projet. Le manque de réversibilité des constructions « classiques » actuelles intensifie également cette problématique .

Malgré cela, ces dernières années, avec la prise de conscience des enjeux climatiques et grâce à tout ce qui a déjà été mis en place, de plus en plus de projets ayant intégré des éléments de réemploi ont vu le jour. Aux vues de ces différentes réalisations, force est de constater qu'il s'agit principalement de travaux de rénovation, et qu'il existe finalement très peu de constructions neuves ayant incorporé des éléments de réemploi. Or, de nouvelles constructions émergent chaque année. En 2020, 11 067 constructions neuves ont été autorisées, et ce, uniquement pour la Wallonie (**SPW, 2022**). Il est donc capital d'améliorer les façons d'aborder la sélection des matériaux ainsi que les modes de construction des ouvrages neufs pour pouvoir répondre à l'ensemble des problématiques actuelles.

IV. QUESTION DE RECHERCHE

À la suite de la mise en contexte, il apparaît plus que nécessaire de se diriger vers une économie circulaire et d'intégrer des éléments de réemploi dans le domaine de la construction. Comme observé dans l'état de l'art, de nombreux organismes ont travaillé et travaillent toujours sur la question du réemploi et de nombreuses recherches tentent de répondre aux différents défis du réemploi. Cependant, et comme relevé dans le point discussion, il existe encore des manquements qui gravitent autour du réemploi. C'est dans ce manque de connaissance que s'inscrit ce travail de fin d'étude, qui aura pour but d'éclaircir un de ces points, à savoir ; l'intégration d'éléments de réemploi dans la construction neuve. Ceci se traduit par la question de recherche :

« Jusqu'où peut-on pousser le réemploi des matériaux dans la construction neuve actuellement ? Quel est le bénéfice environnemental qui en découle ? »

Pour mener à bien cette recherche, et répondre à cette question, une méthodologie comparative basée sur un cas d'étude sera mise en place.

Cette question de recherche englobe également plusieurs objectifs comme :

- Pousser au maximum l'utilisation des matériaux de réemploi dans une construction.
- Convaincre les architectes d'adopter une attitude de glanage.
- Prouver que le réemploi a un impact environnemental réduit.

En effet, bien qu'il soit correct de penser que le réemploi soit bénéfique pour l'impact environnemental, c'est en tout cas ce que relève l'étude de cas, réalisé par le FCRBE, pour un élément isolé (**E. D. FCRBE**). Aucune étude n'a encore clairement quantifié les résultats d'impacts environnementaux à l'échelle d'un bâtiment.

Pour tenter de répondre à cette question et dans le but d'atteindre ces objectifs, ce document procédera à la description détaillée du cas d'étude avant d'expliquer la méthodologie et les hypothèses considérées, notamment dans l'établissement des différents scénarios de la méthode comparative. Enfin, les résultats seront présentés et discutés.

V. CAS D'ÉTUDE

1) SÉLECTION D'UN CAS D'ÉTUDE

Le cas d'étude sélectionné est le bâtiment de bureaux de la société Retrival situé à Charleroi, dont l'adresse exacte est Rue du Déversoir 1C, 6010 Charleroi. Le choix s'est porté sur cet édifice, car il s'agit d'une construction neuve réalisée en 2019 et ayant intégré des matériaux neufs ainsi que des matériaux de réemploi.

De son côté, Retrival est une société coopérative qui promeut le réemploi et intervient entre autres dans des travaux de déconstruction et dans la revente de matériaux réemployés, notamment via leur site Cornermat. Observer ce qu'un acteur clé au sein du réemploi, a pu mettre en place dans son propre bâtiment, ainsi qu'échanger avec eux à propos de la mise en œuvre des éléments de réemploi et des freins qu'ils ont pu rencontrer était donc intéressant dans le cadre de cette recherche.

C'est également une opportunité de pouvoir travailler avec eux, car en plus de disposer des plans, des métrés, des photos d'étapes de construction et de tous les détails nécessaires pour nos analyses, ils possèdent une expérience des pratiques et applications des matériaux de réemploi ainsi qu'une connaissance du marché actuel.

Comme nous avons pu le constater, il existe peu d'exemples de constructions neuves incluant des éléments en réemploi actuellement. Le fait de sélectionner ce cas nous permettra donc d'analyser ce type de construction. Une comparaison entre une construction neuve, conçue uniquement de matériaux neufs et une construction neuve ayant intégré des éléments de réemploi, pourra donc déjà être réalisée. Nous pourrions, par ailleurs, aller plus loin en imaginant ce qui aurait pu être amélioré et jusqu'où l'utilisation des matériaux de réemploi aurait-elle pu être poussée. Pour ce faire, nous proposerons plusieurs scénarios découlant de ce cas d'étude et nous analyserons quels impacts environnementaux ces différents cas génèrent.

Bien que nous ne nous attarderons pas sur l'aspect architectural de ce bâtiment, en termes de spatialité ou encore d'architectonique, mais plutôt sur l'aspect scientifique que représente ce cas d'étude, dans le cadre de cette recherche, nous tenterons tout de même de prouver qu'il est tout à fait possible d'utiliser des matériaux de réemploi plutôt que des matériaux neufs dans un projet d'architecture.

2) DESCRIPTION DU CAS D'ÉTUDE

Retrival est composé, comme nous pouvons le voir sur l'illustration suivante, d'un bâtiment accueillant leurs bureaux et d'un bâtiment industriel adjacent qui sert aussi bien de lieu de stockage que d'atelier. Pour cette recherche, nous analyserons uniquement le bâtiment de bureaux.



FIGURE 16 : FAÇADE AVANT DES BUREAUX RETRIVAL ET HALL INDUSTRIEL
SOURCE 16 : PHOTOS PRISE PAR L'AUTEURE

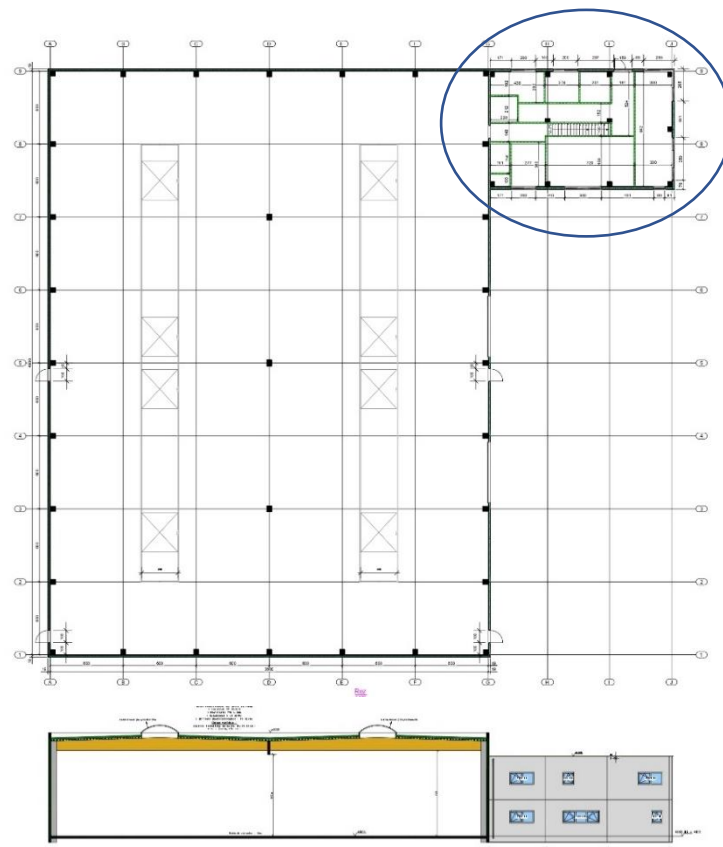


FIGURE 17 : PLAN ET COUPE DES BATIMENTS DE BUREAUX ET DU HALL INDUSTRIEL
SOURCE 17 : DOCUMENTS RETRIVAL

Le bâtiment de bureaux Retrial est une construction neuve de 2019 composée de deux niveaux d'une longueur de quinze mètres sur une largeur de dix mètres, soit d'un total de 300m² pour l'ensemble du bâtiment. Leurs locaux sont composés de six bureaux, d'une salle de réunion, d'une cuisine, d'un réfectoire, de vestiaires, de douches et de plusieurs sanitaires répartis sur les deux étages, comme présenté à la figure ci-dessous. Cet ensemble est prévu pour accueillir les deux administrateurs et une trentaine de collaborateurs présents aussi bien sur le site, dans l'atelier ou sur divers chantiers.

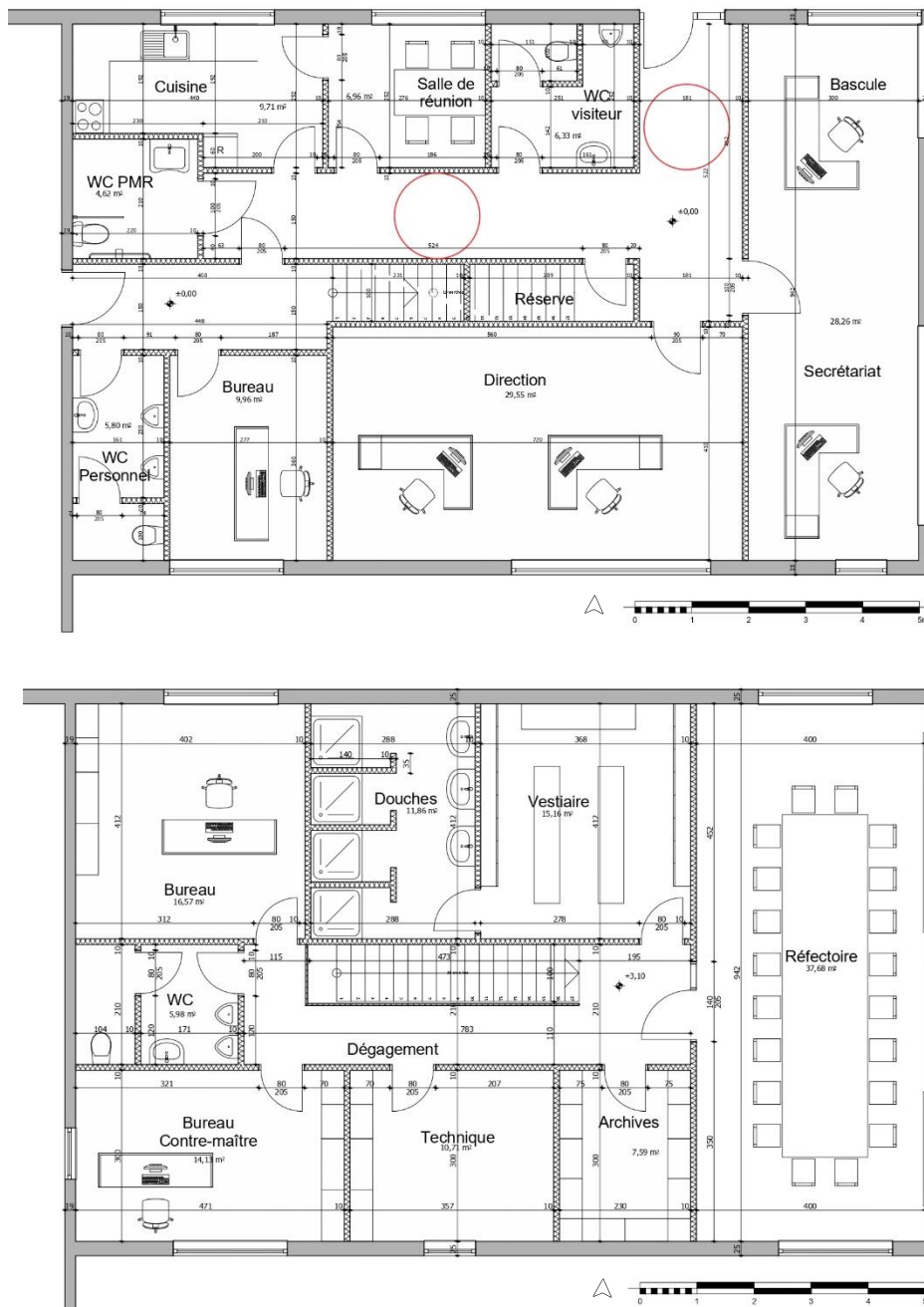
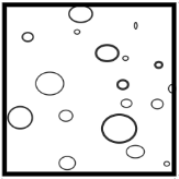



FIGURE 18: PLAN REZ ET REZ+1
SOURCE 18 : DOCUMENTS RETRIAL

Pour décrire au mieux la composition générale du bâtiment, chacun des composants principaux tels que la structure, le gros œuvre fermé, le parachèvement, les techniques, les accessoires, ainsi que le mobilier seront repris et définis tour à tour dans les différents tableaux qui suivront. Les métrés sont également présents en annexe pour plus d'informations.

Les tableaux sont subdivisés en trois colonnes. La première colonne nomme tous les éléments inclus dans le composant. Elle intègre également un schéma de représentation généré via Totem. La deuxième colonne reprend la composition de l'élément. Celle-ci est légendée **en rouge pour des éléments neufs** et **en vert pour des éléments en réemploi**. Enfin, la troisième colonne contient une ou plusieurs photos illustrant l'élément situé dans le cas d'étude. Ces photos ont soit été réalisées et partagées par les gérants de Retrial, soit réalisées par l'auteur.

Tout d'abord, le bâtiment fonctionne avec une structure de poteaux et de poutres sur lesquels reposent les différentes charges et auxquels les murs extérieurs viennent se fixer. La structure du cas d'étude est faite d'éléments préfabriqués neufs, comme présenté dans le tableau ci-dessous. Un ensemble de plans et de coupes de structure illustrés à la figure suivante permettent également d'en apprendre davantage sur le système constructif du bâtiment.

La structure :		
Élément	Composition de l'élément	Photo d'illustration
Poutres et colonnes 	Béton armé préfabriqué (400x400mm)	

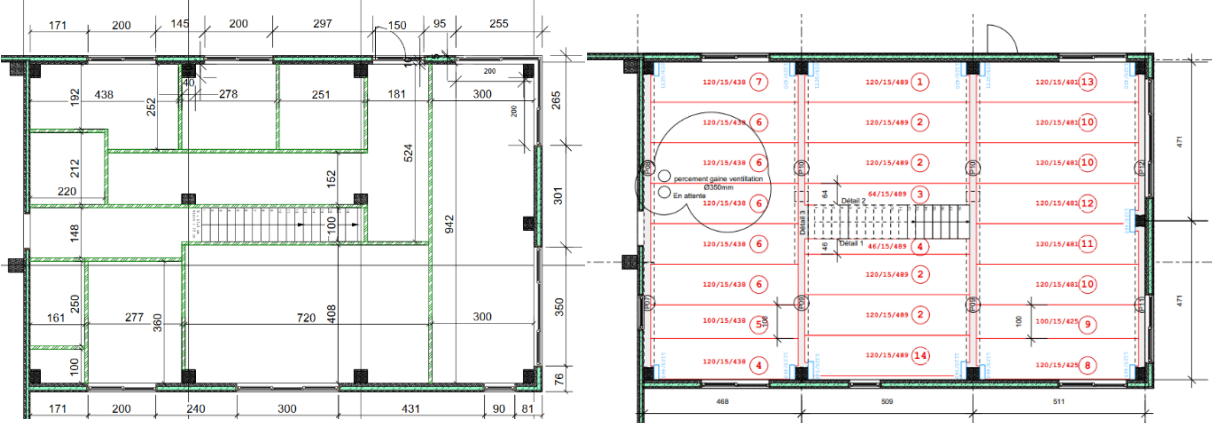


FIGURE 19 : PLAN DE STRUCTURE DU REZ-DE-CHAUSSEE
 SOURCE 19 : DOCUMENTS RETRIVAL

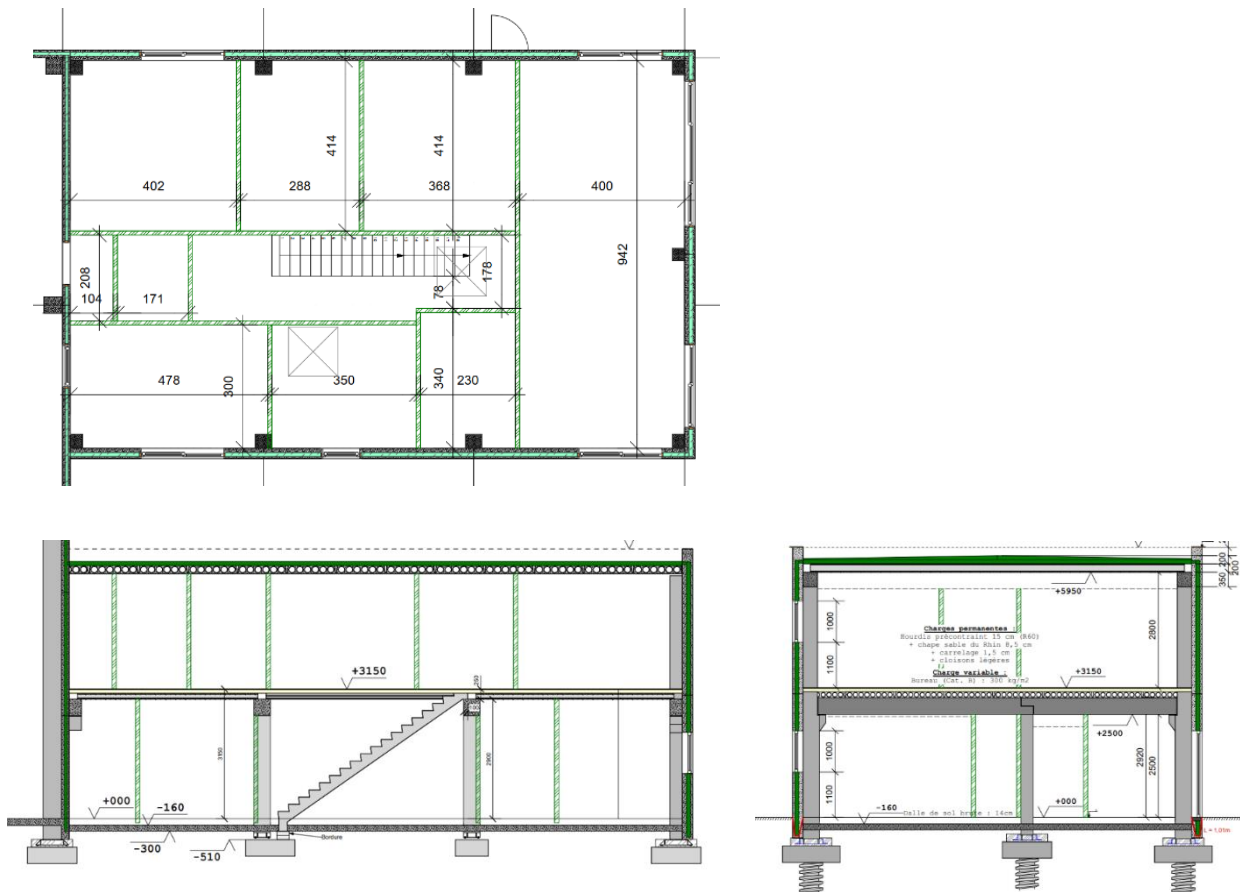
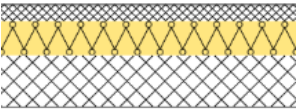

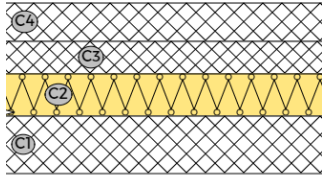

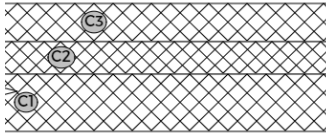

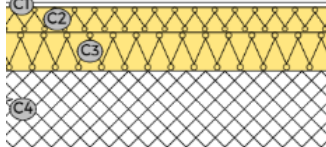

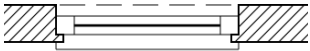

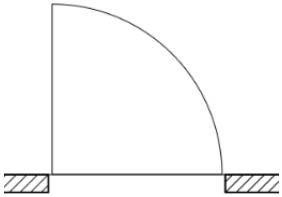



FIGURE 20 : PLAN DE STRUCTURE DU REZ+1 ET COUPES DU BATIMENT
SOURCE 20 : DOCUMENTS RETRIVAL



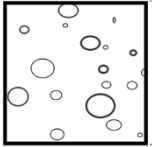

Ensuite, le gros œuvre fermé (G.O) correspond, dans ce travail, aux travaux qui permettent d’obtenir le squelette du bâtiment, ainsi que l’intégralité des planchers. Ce composant englobe donc les postes les plus conséquents en termes de construction, comme repris dans le tableau ci-dessous. Le cas d’étude est uniquement composé de matériaux neufs pour le G.O.

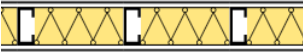

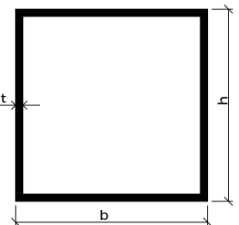



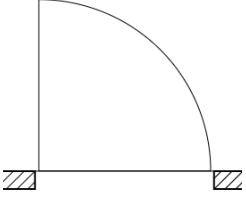

Gros œuvre fermé :		
Élément	Composition de l’élément	Photo d’illustration
Mur extérieur 	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (50mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (100mm)	

Élément (G.O. suite)	Composition de l'élément	Photo(s) d'illustration
<p data-bbox="199 257 526 291">Plancher Rez-de-chaussée</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Mousse PUR (110mm) - Coulé sur site : Béton armé (150mm) 	
<p data-bbox="199 851 399 884">Plancher REZ +1</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm) 	
<p data-bbox="199 1512 295 1545">Toiture</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Gravât et toiture verte - Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) - Panneau PIR (100mm) - Hourdis : Béton précontraint (200mm) 	

Élément (G.O. suite)	Composition de l'élément	Photo d'illustration
Fenêtre 	Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage	
Porte extérieure 	Cadre en acier et aluminium Avec vitrage	

Enfin, le parachèvement, parfois également appelé le second œuvre, succède immédiatement au gros œuvre fermé. Il reprend, dans le cadre de ce travail, les derniers éléments internes à mettre en œuvre dans le bâtiment avant son habitabilité. Le parachèvement est ici, essentiellement composé de matériaux de réemploi comme observable dans ce tableau.

Parachèvement :		
Élément	Composition de l'élément	Photo d'illustration
Carrelage SDB 	Carreaux rigides céramique émaillée	
Escalier 	Béton armé	

Élément (Parachèvement suite)	Composition de l'élément	Photo(s) d'illustration
<p data-bbox="204 277 507 309">Murs intérieurs : cloisons</p>   	<p data-bbox="539 277 772 309">3 types différents :</p> <p data-bbox="539 318 874 568">1) -Panneaux de particules MDF (40mm) -Isolant laine de roche (60mm) entre métal stud en acier -Panneaux de particules MDF (40mm)</p> <p data-bbox="539 725 753 792">2) Double paroi vitrée</p> <p data-bbox="539 1128 836 1285">3) Paroi métallique, ancien coffre de banque. (équivalent en acier)</p>	  
<p data-bbox="204 1449 405 1480">Porte intérieure</p> 	<p data-bbox="539 1621 884 1711">- Cadre de porte en MDF vernis - Porte : panneaux MDF vernis (900x2050mm)</p>	

Dans le cadre de ce travail, et pour les analyses de l'impact environnemental, les composants tels que les fondations, les techniques, les accessoires ainsi que le mobilier ne seront pas pris en compte. Et ce principalement, car leurs modélisations dans Totem ne sont pas faisables. En effet, il n'existe pas encore de catégorie dans l'outil Totem pour ces éléments, à l'exception des techniques. Cependant, le manque de données relatives à cette catégorie et la variabilité des possibilités risqueraient de trop influencer le bilan environnemental. De plus, cette catégorie aurait surtout une importance pour la consommation d'énergie. Or, ce travail ne considère pas cet aspect-là, mais bien les aspects liés aux matériaux.

Ces différents composants seront tout de même succinctement décrits dans des tableaux suivant, pour fournir une vision globale du bâtiment. Les tableaux sont subdivisés en deux colonnes, à savoir la description des éléments et des photos d'illustration.

Il est, malgré tout, important de relever l'effort considérable qu'a effectué Retrieval sur les accessoires et le mobilier, étant donné que ces points sont pratiquement totalement réalisés en réemploi au sein de leur bâtiment. Il est à noter que l'attention qu'ils ont apportée favoriserait encore davantage l'impact environnemental par rapport à des composants neufs.

Pour aller plus loin, une estimation de certains éléments comme les sanitaires et le mobilier pourrait être réalisée pour comparer le bénéfice environnemental accompli avec des éléments réemployés. Pour ce faire, il faudrait tenir compte, lors de la modélisation dans Totem, d'une équivalence en céramique pour les sanitaires et d'une équivalence en bois pour le mobilier. Cependant, concrétiser ces modélisations nous contraindrait à encoder ces composants dans une catégorie préexistante sur Totem et, de ce fait, inadéquate par rapport à la réalité. Ceci engendrerait des hypothèses supplémentaires, notamment sur les étapes du cycle de vie relatives à un composant, à savoir la maintenance, le remplacement d'éléments, etc., qui sont des éléments qui varient en fonction de la catégorie et qui modifient donc le résultat des indicateurs d'impacts.


En plus, dans nos modélisations, les catégories pouvant se rapprocher au mieux de l'équivalence sont déjà utilisées pour des éléments du cas d'étude. En conséquence, les introduire dans le projet existant entraînerait une modification complémentaire des résultats, et il serait moins aisé de les comparer ainsi que de les interpréter. Si nous souhaitions réaliser ces estimations, il vaudrait mieux les réaliser dans un nouveau projet de l'interface Totem.

Pour finir, cette estimation ne tiendrait finalement compte que des sanitaires et du mobilier composé de bois. Elle ne considérerait pas l'ensemble des éléments repris dans ces composants. Cette estimation, bien qu'apportant des détails supplémentaires, pourrait toujours être jugée insuffisante par rapport à l'ensemble du composant.




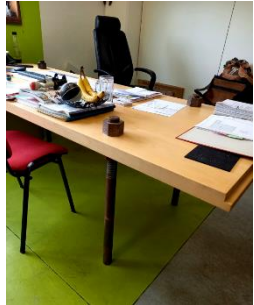
Les techniques reprennent l'ensemble des équipements nécessaires à une occupation confortable au niveau des besoins en eau, en électricité, en chauffe et qualité de l'air. Ces composants sont principalement réalisés avec des matériaux neufs.

Techniques :	
Élément	Photo(s) d'illustration
<p>Équipement normes incendies</p> <p>Panneaux de circulation Détecteurs de fumée Luminaires Cablage</p>	
<p>Ventilation et chauffage</p> <p>Gaines de ventilation</p> <p>Unité de pulsion d'air</p>	 
<p>Installation électrique</p>	
<p>Différents circuits d'eau</p>	

Les accessoires reprennent la dernière phase des travaux avant l'occupation. Elles regroupent, dans le cadre de ce travail, plusieurs petits postes et mises en œuvre tels qu'illustrés brièvement ci-dessous. Ce composant a presque été totalement réalisé en réemploi.

Accessoires :	
Élément	Photo(s) d'illustration
<p>Sanitaires</p> <p>Eviers et robinetteries Toilettes</p>	
<p>Interrupteurs</p> <p>Interrupteurs</p>	
<p>Peintures</p> <p>Peinture dans certains locaux</p>	

Le mobilier reprend l'ensemble des meubles destinés à l'usage des occupants, comme il est possible de le constater de manière générale ci-dessous. Ce poste est totalement réalisé en réemploi, à l'exception de quelques bureaux réalisés avec plusieurs matériaux réemployés. Cette application correspond à du recyclage, car leur fonction diffère donc de celle d'origine.

Mobiliers :	
Élément	Photo(s) d'illustration
<p>Meubles</p> <p>Cuisine Vestiaires Bureaux Chaises Armoires</p> <p>Attention : certains bureaux comme ici sur la photo sont recyclés et pas réemployés car ils n'avaient pas cette fonction initialement.</p>	    

VI. MÉTHODOLOGIE

1) PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'objectif principal de cette recherche est de pousser au maximum l'utilisation de matériaux réemployés dans de nouvelles constructions, ainsi que de pouvoir quantifier le bénéfice environnemental qu'il est possible d'acquérir grâce à cette utilisation.

Pour répondre à cet objectif, cette recherche procèdera à différentes étapes. La méthode utilisée sera énumérée succinctement ci-dessous, avant d'être détaillée aux prochains points.

Bien que cette méthode se base sur une méthodologie comparative et s'applique de ce fait à un cas d'étude, la méthode se veut générale. En effet, il est possible d'appliquer cette méthode à différents scénarios pour ainsi augmenter l'utilisation de matériaux de réemploi. De plus, c'est également l'objectif de Totem, de proposer d'autres variations possibles.

Premièrement, un cas d'étude a été sélectionné pour matérialiser notre recherche. Le bâtiment de bureau Retrival a été retenu pour ce travail. Comme décrit en détail au chapitre précédent, il s'agit d'une construction neuve ayant intégré des matériaux de réemploi.

Deuxièmement, en vue d'établir une méthodologie comparative, plusieurs scénarios découlant du cas d'étude seront proposés. Ces différents scénarios auront chacun un taux de variation de matériaux de réemploi différent. Ils partiront d'un ensemble neuf vers un ensemble théorique, 100% en réemploi. Les hypothèses et les choix des scénarios seront décrits au prochain point avant de détailler totalement chaque cas dans le chapitre suivant.

Troisièmement, une investigation sur les plateformes du circulaire sera effectuée afin de trouver un maximum de matériaux de réemploi, correspondant aux différents scénarios établis. La démarche effectuée sera expliquée au troisième point de ce chapitre.

Quatrièmement, dans le but d'obtenir l'impact environnemental des différents scénarios, chaque cas sera modélisé sur l'outil totem. La procédure relative aux modélisations sera décrite au quatrième point. Enfin, les résultats relatifs à l'impact environnemental ressortant de ces analyses feront l'objet d'un nouveau chapitre ultérieurement.

Cinquièmement, un bilan de matière sera réalisé pour comparer la quantité de matériaux, neufs et réemployés, utilisés dans chacun des cas. Ce point permettra d'apporter des informations complémentaires aux résultats d'impact environnemental.

Enfin, les résultats seront analysés, interprétés et discutés dans les prochains chapitres.

2) SCÉNARIOS – MÉTHODOLOGIE COMPARATIVE

Comme évoqué précédemment, et dans le but d'évaluer le bénéfice environnemental induit à la suite d'une utilisation maximale de matériaux de réemploi, une méthodologie comparative basée sur un cas d'étude sera mise en place. Le cas d'étude, le bâtiment Retrival, décrit au chapitre précédent, et nommé Retrival « Cas existant » sera le cas de référence et de comparaison durant tout ce travail.

Dans le cadre de cette recherche, la méthodologie comparative, consiste à comparer l'impact environnemental de différents scénarios présentant des caractéristiques similaires. Pour ce faire, différents cas fictifs, découlant du cas d'étude, seront proposés. Cinq scénarios seront élaborés, chacun d'eux avec un taux de variation de matériaux de réemploi. Ces scénarios débiteront d'un cas ne contenant aucun matériau de réemploi avec un impact lourd et irréversible pour se diriger au fur et à mesure vers un scénario réalisé à 100% de matériaux réemployés, avec un impact plus léger et réversible.

Chaque scénario sera décrit en détail dans le prochain chapitre. Ils seront cependant décrits brièvement ci-dessous avec leurs caractéristiques principales et leurs différences entre chaque cas. Enfin, dans un but de clarification entre les différents scénarios, chaque cas correspondra à une couleur, et ce, jusqu'à la fin de ce travail. Comme illustré à la figure ci-dessous.

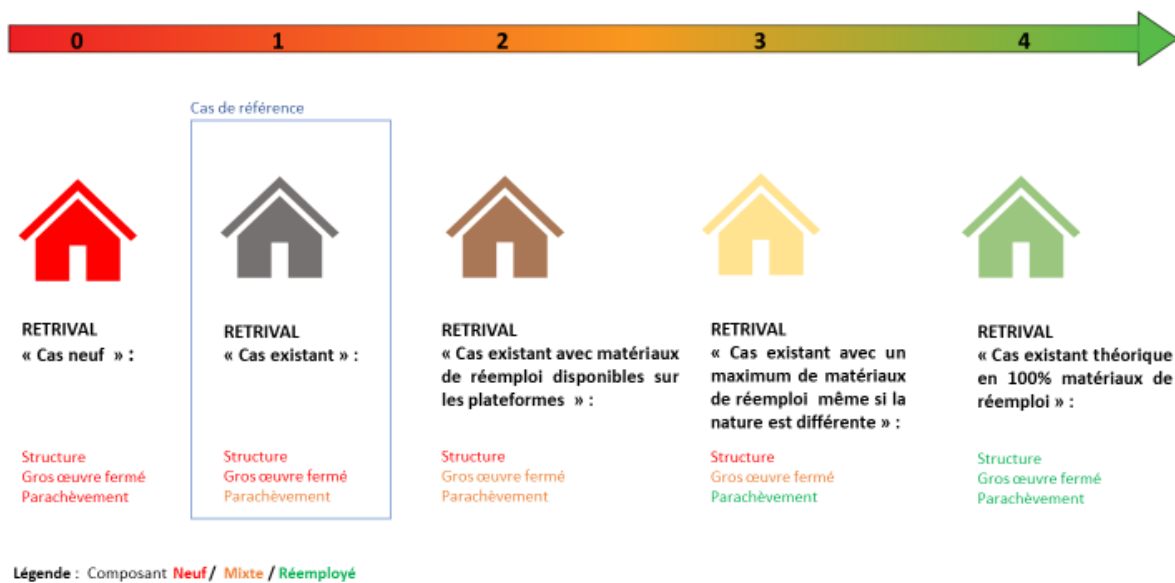


FIGURE 21 : PRESENTATION DES CINQ SCENARIOS
SOURCE 21 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEURE

Retrival « Cas neuf » sera le cas de départ, et le scénario zéro. Ce cas reprendra exactement les mêmes composants, les mêmes éléments ainsi que les mêmes matériaux que le « cas existant » mais sera uniquement composé de matériaux neufs.

Retrival « cas existant » correspond au cas d'étude et sera le cas de référence ainsi que le premier scénario. Comme décrit en détail dans le chapitre précédent, il est composé d'une structure et d'un gros œuvre fermé neuf tandis que le parachèvement est composé d'un mix de matériaux neufs et réemployés.

Retrival « Cas existant avec matériaux de réemploi disponibles sur les plateformes » aussi abrégé en « **Cas disponible** » correspond au deuxième scénario. Ce cas est composé des mêmes matériaux que le cas existant. Cependant, afin de pousser l'utilisation de matériaux réemployés au maximum, ce cas intègre tous les matériaux réemployés qu'il est possible de trouver sur les plateformes, à condition que ces matériaux soient similaires au cas existant. Pour ce faire, des recherches approfondies sur les plateformes seront effectuées, et tous les matériaux répondant à ces critères seront sélectionnés.

Ce type de modification permettra d'adopter un parachèvement et un gros œuvre mixte contenant plus de matériaux de réemploi et une structure quant à elle toujours neuve.

Retrival « Cas existant avec un maximum de matériaux de réemploi même si la nature est différente » aussi abrégé en « **Cas différent** » correspond au troisième scénario. Ce cas reprend le cas précédent, à savoir le « cas disponible », mais il va encore plus loin dans l'utilisation de matériaux de réemploi. Pour ce faire, et comme tous les matériaux réemployés semblables au cas d'étude et présents sur les plateformes ont déjà été introduits dans le « cas disponible », ce cas changera la nature de certains éléments qui n'auraient pas encore été modifiés au préalable. Des recherches de matériaux sur les plateformes permettront de proposer une alternative réemployée de matériaux différents.

Changer la nature des certains éléments ou modifier certains matériaux pourrait entraîner une infinité de « cas différents ». Pour ne proposer qu'un cas et pour rester dans l'optique des scénarios, c'est-à-dire, le plus proche du cas d'étude, ce cas tentera de rester le plus proche de la catégorie des éléments à encore modifier. Si les plateformes permettent de trouver plusieurs matériaux différents pour un élément, alors le critère de sélection apporté sera de se référer au type de matériaux. Si un élément est de type lourd, il restera également de type lourd. Il en va de même pour les éléments de type léger.

Ce type de modification permettra d'obtenir un parachèvement complètement réalisé à partir de matériaux réemployés, d'un gros œuvre mixte contenant plus de matériaux de réemploi et une structure quant à elle toujours neuve.

Retrival « Cas existant théorique en 100% réemploi » parfois aussi abrégé en « **Cas théorique** » correspond au quatrième et au dernier scénario. Ce cas reprend le « cas existant » mais considère que l'ensemble du bâtiment est réalisé en réemploi. Pour ce faire, il suffira de reprendre la modélisation du « cas existant » et de modifier la nature de l'ensemble des éléments par le statut réemploi ex-situ.

Ce cas se veut théorique ou plutôt utopique dans le sens où il n'est pas objectivement réalisable. Notamment, car le bâtiment de base intègre des éléments en béton coulé et également parce qu'il n'existe pas d'éléments de structure sur les plateformes du réemploi, au moment des recherches. Cependant, il est tout de même intéressant, dans le cadre de ce travail, de voir quel est l'impact généré par la structure et par une utilisation maximale d'éléments réemployés. Ce cas permet donc d'analyser ce que génère une structure réemployée.

3) SÉLECTION DES MATÉRIAUX DE RÉEMPLOI SUR LES PLATEFORMES

Ce point détaillera le procédé de sélection des matériaux de réemploi sur les différentes plateformes pour le « cas disponible » et le « cas différent ». En effet, la description des trois autres scénarios ne demande pas de recherche complémentaire de matériaux.

Ce travail d'investigation a suscité un grand nombre de questions, entraînant de ce fait des hypothèses concernant la stratégie à suivre. Le principe de sélection des matériaux sera détaillé ci-dessous. Enfin, lors de la sélection des matériaux, des questions relatives à la démarche de recherche sur les plateformes, à la qualité d'un matériau considéré ou encore les caractéristiques de celui-ci, se sont posées et feront l'objet des sous points suivants.

Dans le but de trouver sur les plateformes un maximum de matériaux de réemploi correspondant aux différents scénarios, les recherches s'effectuent matériau par matériau. Dans la mesure du possible, les caractéristiques du matériau réemployé seront conformes au matériau du cas d'étude. La matière de ceux-ci sera systématiquement identique tandis que les dimensions, notamment l'épaisseur, seront respectées au maximum. À quelques exceptions près qui seront détaillées plus bas.

Afin d'adopter une attitude de glanage, les recherches privilégieront d'abord un périmètre proche du projet, pour s'agrandir au fur et à mesure, jusqu'à l'obtention d'un matériau équivalent. Si pour un rayon important, aucun matériau réemployé n'est trouvé lors de la période de recherche, alors le matériau sera considéré comme indisponible sur les plateformes et dans ce cas, restera de nature neuve dans le scénario. Si, au contraire, plusieurs matériaux répondent aux critères, ils seront tous sélectionnés de façon à fournir un large panel de matériaux réemployés, et ce, dans l'intention de couvrir les quantités de matériaux nécessaires au scénario. Enfin, chacun des matériaux sera décrit sur une fiche matériaux présentée au deuxième et troisième point des annexes, correspondant au numéro de leur scénario respectif.

Cependant, dans certains cas, les échantillons de matériaux réemployés ne permettent pas de constituer entièrement les quantités souhaitées pour répondre au scénario. Pour ne pas subdiviser le bâtiment, il sera établi dans le cadre de ce travail que s'il est possible de trouver un matériau, alors il pourrait également être possible de le trouver dans la quantité souhaitée si la période de recherche s'étendait. L'hypothèse finale sera donc de considérer que si un matériau est présent sur les plateformes du réemploi, alors il l'est pour l'entièreté du stock nécessaire.

Plateformes

La sélection des matériaux de remploi sur les plateformes est un travail de longue haleine. En effet, repérer des matériaux sur les différentes plateformes représente un temps de recherche considérable sur une longue période. Encore plus si un matériau spécifique est souhaité.

Dans le cadre de ce travail, les recherches se sont tout d'abord réalisées sur un maximum de plateformes, tel que présenté au point 6 du chapitre III. Elles ont cependant été plus concluantes sur les plateformes spécialisées dans le secteur de la construction telles que Opalis, Rotor DC et Cornermat.

En effet, les plateformes de seconde main plus génériques telles qu'eBay, 2^{ème} main.be, ne contiennent pas énormément de matériaux de réemploi. Lorsque certains matériaux s'avèrent être présents sur ces plateformes, les annonces manquent cruellement d'informations. Effectivement, les données telles que les dimensions ou la nature du matériau ne sont pas souvent présentes. Il n'est pas non plus toujours facile de savoir s'il s'agit d'éléments réemployés ou plutôt d'une fin de stock de matériaux neufs. Or, dans ce travail, seuls les matériaux réemployés sont considérés.

Pour Rotor DC et Cornermat, bien que ceci implique de consulter deux sites différents, les résultats, quant à la présence ou non du matériau de réemploi souhaité, sont directs. Tandis que sur Opalis les recherches doivent être un peu plus poussées.

En réalité, Opalis est une plateforme qui rassemble un grand nombre de revendeurs de matériaux de réemploi. Lorsqu'une recherche est effectuée pour un matériau spécifique, il en ressort donc un panel de revendeurs qu'il faut consulter les uns à la suite des autres pour aboutir à un résultat. Bien qu'Opalis ait le mérite d'exister, car il était effectivement impératif que des plateformes du réemploi se développent, y effectuer des recherches représente un travail très long et laborieux. Bien que la majorité des matériaux et éléments trouvés et sélectionnés pour les scénarios proviennent de cette plateforme, toutes les recherches ne sont pas toujours concluantes.

En effet, il arrive que certains revendeurs présentés sur la plateforme n'aient pas un site fonctionnel ou mis à jour. Parfois leurs stocks n'apparaissent pas sur leur site et il faut contacter la société ou se rendre sur place pour avoir plus d'informations, ce qui induit un déplacement peut être inutile. La barrière de la langue peut également être un problème, en fonction du lieu de revente. Il se peut par ailleurs qu'après avoir effectué toutes les démarches, un matériau ne soit pas disponible chez un revendeur, ou encore qu'il soit disponible, mais qu'il n'y ait pas assez d'informations telles que les dimensions, la matière, le stock, etc, de celui-ci. Enfin, il arrive encore souvent que certains revendeurs présents sur la plateforme Opalis ne revendent pas que des matériaux réemployés. Il est courant de trouver des matériaux neufs, réemployés ou encore un mixtes entre du neuf et du réemploi ou même des fins de stock de matériaux neufs qu'ils décrivent comme étant du réemploi.

Ceci énumère un bon nombre de freins rencontrés lors de recherches de matériaux, ce qui entraîne un temps de recherche conséquent. Cependant, Opalis est actuellement la meilleure plateforme au niveau Belge à proposer un si grand panel de revendeurs de réemploi et même

si les recherches peuvent s'avérer longues, la majorité des matériaux sélectionnés pour ce travail provient de cette plateforme.

Qualité

Des questions de qualité se sont posées lors de la sélection des matériaux réemployés. En effet, comment être sûre qu'un matériau réemployé conserve ses caractéristiques et ses performances, et ce, pour quelle durée de vie ? Dans l'ouvrage *Déconstruction et réemploi, Comment faire circuler les éléments de construction*, Rotor déclare qu'il faut « Objectiver les caractéristiques des produits de réemploi » et qu'il serait utile de mettre en place un label réemploi (**Ghyoot et al., 2018**). Cette mesure n'étant pas encore en vigueur, l'hypothèse émise dans ce travail sera d'objectiver les caractéristiques des matériaux, et donc de considérer qu'ils préservent leurs qualités et leurs caractéristiques.

Toujours selon Rotor, certains éléments n'ont pas besoin de beaucoup d'informations avant d'être réemployés, tandis que d'autres nécessitent des informations complémentaires (**Ghyoot et al., 2018**). En effet, on peut admettre qu'un carrelage en bon état après x années d'utilisation ait déjà fait ses preuves et pourrait être réemployé sans problème. Tandis qu'un élément de structure nécessitera des calculs spécifiques avant d'être remis en œuvre.


Dans ce travail, aucun élément de structure n'a été sélectionné, notamment, car ils sont peu présents, voir totalement absents des plateformes du réemploi. Les seuls éléments de structure qui auraient pu être sélectionnés, n'ont pas été intégrés au scénario parce que les informations sur les annonces n'étaient pas assez complètes et claires. Ces éléments ont tout de même été décrits en annexe sur des fiches matériaux de 3.3.1 à 3.3.4.

Ensuite, sur les plateformes du réemploi et durant la période de ce travail, aucun isolant ne ressortait des plateformes belges. Les isolants trouvés proviennent des Pays-Bas et sont présentés en annexe sur les fiches matériaux de 2.4.1 à 2.4.9. Cette absence d'isolant peut, peut-être, s'expliquer par le fait qu'il soit difficile de prédire les propriétés des isolants.

En effet, des questions de qualité relatives à la durée de vie se sont posées lors des recherches d'isolants. Pour preuve, dans le cours de Sophie Trachte, Licar1801 - *Matière à construire : Les matériaux isolants*. Et comme illustré à la figure qui suit, il est indiqué qu'un isolant possède une durée de vie approximative de trente ans (**Trachte**). N'ayant pas de certitude quant à la durée de vie d'un isolant neuf et aucune garantie à propos de sa capacité thermique dans le temps, il est indubitablement difficile d'estimer la durée de vie d'un isolant réemployé. Surtout qu'il est rarement possible de connaître le nombre d'années d'utilisation de celui-ci depuis sa première mise en œuvre. De plus, il est également peu probable d'être totalement informé des conditions de vie et d'utilisations d'un isolant tels que l'application et la manipulation. Sachant que certains isolants peuvent voir leurs compétences thermiques diminuées après avoir été exposés à l'eau et à l'humidité, il est d'autant plus difficile d'estimer leur qualité ainsi que leur durée de vie.

En définitive, et dans l'objectif de pousser au maximum l'utilisation de matériaux de réemploi, l'hypothèse considérée dans ce travail a été de sélectionner tous les matériaux disponibles sur

les plateformes qui correspondent aux matériaux des scénarios, tout en supposant que les qualités de ceux-ci soient identiques, qu'ils soient neufs ou réemployés.



[m]	Composants	durée de vie	remplacement	élimination	description technique
1	0.24 polystyrène expansé	30	1	2	Chaque isolant a ses caractéristiques propres.
2	0.24 polystyrène extrudé	30	1	2	Certains isolants seront utilisés spécifiquement en isolation de dalles de sol, d'autres principalement en isolation de toitures et/ ou de murs extérieurs.
3	0.18 polyuréthane	30	1	2	D'autres encore seront utilisés en tant qu'isolant phonique, dans les planchers ou cloisons intérieures.
4	0.24 laine de roche	30	1	2	Il est impératif de vérifier que son utilisation et sa mise en oeuvre correspondent aux prescriptions du fabricant.
5	0.24 laine de verre	30	1	2	
6	0.27 verre cellulaire	> 50	0	1	
7	0.38 perlite expansée	30	1	2	
8	0.82 argile expansée (en vrac)	> 50	0	1	
9	0.27 fibres de bois (matelas)	30	1	2	
10	0.27 fibres de bois (panneaux)	30	1	2	
11	0.27 cellulose (matelas)	30	1	2	
12	0.27 cellulose (en vrac)	30	1	2	
13	0.27 panneaux de liège	30	1	2	
14	0.27 fibres de coco (matelas)	30	1	2	
15	0.27 fibres de chanvre (matelas)	30	1	2	
16	0.27 fibres de lin (matelas)	30	1	2	

FIGURE 22 : DUREE DE VIE D'UN ISOLANT (A MEME PERFORMANCE D'ISOLATION, EPAISSEUR VARIABLE EN FONCTION DE LAMBDA)

SOURCE 22 : LICAR1801 - MATIERE A CONSTRUIRE : LES MATERIAUX ISOLANTS – SOPHIE TRACHTE.

Caractéristiques

Comme décrit plus haut, dans la mesure du possible, les matériaux sélectionnés pour les différents scénarios, tels que les dimensions et la matière, correspondent aux caractéristiques des matériaux du cas d'étude. Sauf évidemment pour quelques matériaux du « cas différent » qui est justement le but de ce scénario.

Cependant, quelques exceptions, comme les fenêtres, viennent confirmer cette règle. En effet, des fenêtres en réemploi de même matière et possédant les mêmes caractéristiques que le double vitrage se sont avérées disponibles sur les plateformes. Nonobstant, trouver des modèles similaires en termes de surface de vitrage, de couleur et en plusieurs exemplaires est quasiment impossible. Concrètement, le cas d'étude possède 5 modèles de fenêtres différentes, pour un total de 16 ouvertures, tel qu'illustré à la figure suivante. Pour essayer de rester le plus proche possible de l'existant, plusieurs fenêtres réemployées avec une surface de vitrage approximativement semblable au cas d'étude ont été sélectionnées. Ces fenêtres ont été classées sur les fiches matériaux 2.2.1 à 2.2.12 présentées en annexe en fonction du type de modèle du cas d'étude. L'ensemble des fenêtres a pu être acquis en réemploi.

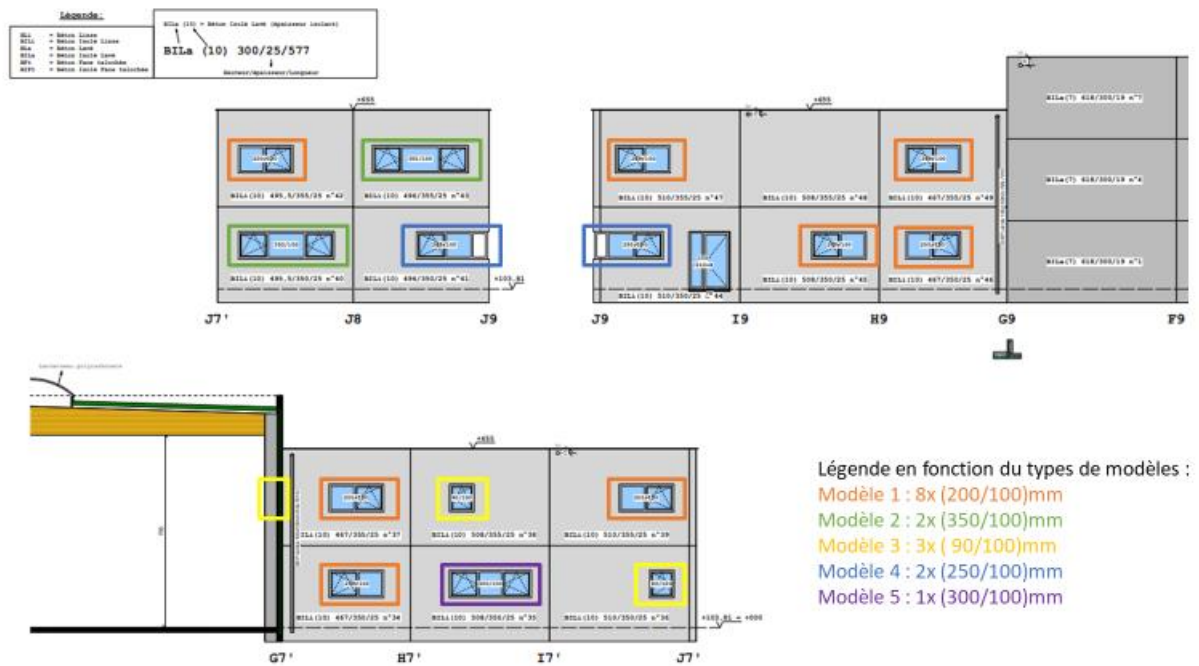


FIGURE 23 : ELEVATION DU BATIMENT ET MISE EN EVIDENCE DES MODELES DE FENETRES
SOURCE 23 : DOCUMENTS RETRIVAL ET ANNOTATIONS DE L'AUTEUR

Par ailleurs, les caractéristiques dimensionnelles de certains matériaux ont suscité de nouvelles hypothèses. Comme vu plus haut, et pour faire suite au point qualité lors de la sélection des matériaux, des questions relatives à l'épaisseur se sont posées. Faut-il augmenter l'épaisseur d'un matériau pour contrer une éventuelle baisse de qualité ? Ou encore, comment évaluer le coefficient thermique, qui est influencé par l'épaisseur d'un élément en réemploi ? Plus précisément, comment définir le lambda d'un matériau réemployé ? Ces interrogations peuvent se poser pour chaque matériau. Cependant, l'isolant est celui qui a suscité le plus de questions, comme déjà évoqué plus haut, il est plus difficile de prédire les propriétés de l'isolant. De plus, c'est l'isolant qui endosse le rôle principal en matière de transmission thermique, c'est donc sur ce matériau que des questions d'épaisseur vont le plus s'appliquer.

Pour le cas d'étude, les valeurs U de coefficient thermique, obtenues avec le lambda et l'épaisseur des matériaux, sont connues et fournies pour les matériaux neufs. Cependant, si la valeur lambda d'un isolant n'est pas connue, comme c'est le cas actuellement pour les isolants réemployés, il est difficile de définir une épaisseur correcte qui respecte la réglementation PEB, c'est-à-dire une valeur $U \leq 0.24W/m^2K$ pour l'enveloppe extérieure. **(PEB)**

Sans aborder la question d'un matériau neuf ou d'un matériau réemployé, lors des calculs de coefficient thermique, Buildwise préconise comme illustré à la prochaine figure, de tenir compte d'une valeur lambda par défaut si la valeur lambda d'un matériau n'est pas connue **(Buildwise)**. Se baser sur cette valeur par défaut, qui se place du côté de la sécurité, donne lieu à une épaisseur plus importante pour garantir le même coefficient thermique. La question d'ajouter une épaisseur supplémentaire d'isolant pour garantir une isolation efficace est donc tout à fait légitime.

Cependant, ceci entrainerait un supplément de matière et donc un impact environnemental légèrement différent. Dans le cadre de ce travail, pour comparer des éléments et des quantités similaires au niveau de l'impact environnemental, l'hypothèse prise est de maintenir la même épaisseur que l'élément initial.

Matériaux d'isolation (fabriqués en usine)	Chaleur massique c [J/(kg.K)]	Valeurs $\lambda_{U,i}$ [W/(m.K)] ⁽²⁾	Valeurs $\lambda_{U,i}$ par défaut [W/(m.K)] ⁽³⁾
Laine minérale (panneaux, matelas) (MW)	1030	0,031-0,044	0,045
Polystyrène expansé (plaques) (EPS)	1450	0,031-0,045	0,045
Polyéthylène extrudé (plaques) (PEF)	1450	0,035-0,045	0,045
Polystyrène extrudé (plaques) (XPS)	1450	0,028-0,038	0,040
Polyuréthane (plaques revêtues) (PUR/PIR)	1400	0,023-0,029	0,035
Mousse phénolique (plaques) (PF)	1400	0,022-0,038	0,045 ⁽⁴⁾
Verre cellulaire (plaques) (CG)	1000	0,038-0,050	0,055
Perlite expansée (plaques) (EPB)	900	0,052-0,055	0,060
Liège (panneau) (ICB)	1560	-	0,050
Vermiculite expansée (panneaux)	900	-	0,090

⁽¹⁾ L'exposition directe de ces matériaux aux conditions climatiques extérieures n'est pas recommandée, sauf si un agrément technique a été délivré pour une application adéquate, précisant la valeur de calcul à utiliser.

⁽²⁾ Les valeurs mentionnées dans cette colonne à titre d'information sont les valeurs les plus basses et les plus hautes fournies par les spécifications techniques européennes de l'EOTA (European Organisation for Technical Approvals), les déclarations volontaires de qualité ATG (agrément technique de l'UBAtc – Union belge pour l'agrément technique dans la construction) ou les certificats Keymark du CEN (Comité européen de normalisation), quels que soient l'application et les autres facteurs d'influence éventuels.

⁽³⁾ Les valeurs $\lambda_{U,i}$ par défaut sont à utiliser en l'absence d'informations précises sur les caractéristiques thermiques du produit.

⁽⁴⁾ Cette valeur est ramenée à 0,030 W/mK pour les plaques d'isolation revêtues en mousse phénolique à cellules fermées.

FIGURE 24 : TABLEAU DES VALEURS LAMBDA A CONSIDERER DANS LES CALCULS.
SOURCE 24 : BUILDWISE

4) IMPACT ENVIRONNEMENTAL VIA L'OUTIL TOTEM

Pour évaluer l'impact environnemental, l'outil Totem, présenté plus haut au point III.7 a été sélectionné. Le choix s'est porté sur cet outil, car, en plus d'être un outil belge et donc de considérer des bases de données belges, il est possible de modéliser des éléments aussi bien neufs que réemployés. Ceci permet d'obtenir des résultats d'impact environnemental reflétant la nature des matériaux, ce qui est essentiel pour ce travail. Les différents points d'attention et choix procéduriers lors des modélisations et de la sélection de données seront détaillés ci-dessous.

Catégorie

Comme expliqué brièvement plus haut, Totem ne permet pas encore de modéliser tous les composants d'un bâtiment car l'outil n'intègre pas encore toutes les catégories d'éléments. Les composants tels que les fondations, les techniques, les accessoires, ainsi que le mobilier ne seront pas pris en compte dans nos analyses.

Modélisation

Le cas d'étude sera modélisé dans Totem de manière à être le plus réaliste possible. La nature de chaque matériau sera respectée lors de la sélection des matériaux. Si la nature exacte d'un matériau n'est pas disponible dans la bibliothèque Totem, un matériau le plus proche possible du cas d'étude sera sélectionné pour refléter au mieux la situation existante.

La conductivité thermique de l'enveloppe du bâtiment existant équivaut à une valeur $U \leq 0.21\text{W/m}^2\text{K}$. Cependant, dans les modélisations, il est possible que Totem considère une valeur standard de λ et, de ce fait, légèrement différente de celle indiquée dans nos métrés. Il est également possible que l'outil Totem ne permette pas de modifier l'épaisseur de certains éléments. Dans ces deux types de situations, le choix, lors de la modélisation, sera de sélectionner une épaisseur la plus proche possible de l'existant tout en garantissant une modélisation qui respecte la valeur de conductivité thermique définie dans la réglementation PEB, c'est-à-dire une valeur $U \leq 0.24\text{W/m}^2\text{K}$ pour l'enveloppe extérieure. **(PEB)**

Enfin, une fois que le cas d'étude sera modélisé, et pour obtenir des comparaisons équivalentes, tous les autres scénarios seront des déclinaisons de cette modélisation. C'est donc le statut neuf ou réemployé ex-situ qui sera modifié au sein des modélisations en fonction des cas. À l'exception bien évidemment du « Cas différent », qui, comme vu plus haut, implique de changer la nature de certains éléments.

Analyse cycle de vie

Totem permet de considérer différentes étapes de cycle de vie d'un élément. Dans le cadre de cette recherche axée sur les matériaux et leurs impacts, l'analyse de cycle de vie considéré ne tiendra pas compte de la phase de consommation d'énergie due à l'utilisation du bâtiment. Les phases de cycle de vie intervenant dans ce travail, et comme illustré au point III.7 sont les phases de A1 à A5 qui correspondent à la production et la construction, les phases B2 et B4 qui correspondent respectivement à la maintenance et au remplacement des éléments, ainsi que les phases C1 à C4 qui reflètent la fin de vie des matériaux **(OVAM)**.

Il est à noter que le dernier point, de C1 à C4, représente la déconstruction ou la démolition, le transport et le traitement des déchets pour la réutilisation ou le recyclage ainsi que le traitement final et l'élimination des déchets. La considération de ce point a suscité des questions et posé des limites par rapport à la thématique. En effet, dans l'idéal, il aurait été préférable de considérer, que dans le futur, les matériaux déconstruits puissent retourner dans un processus de matériaux réemployés et ce indéfiniment. Totem ne permet pas encore d'envisager cette possibilité. Cependant, il est possible qu'une phase D de production voit bientôt le jour. Elle proposerait de D1 à D4 de réutiliser, récupérer, recycler les matériaux et de devenir un potentiel. Dans l'hypothèse où les matériaux du bâtiment n'intègrent pas de boucle à valeur positive, et comme c'est principalement le cas actuellement, il était plus judicieux de tout de même considérer toutes les étapes du cycle vie associées aux matériaux dans le cadre de ce travail pour refléter au mieux l'impact environnemental.

Durée de vie

Dans un bâtiment, les composants et leurs éléments n'ont pas tous les mêmes durées de vie. Il se peut également qu'un élément ait une durée de vie plus longue ou plus courte qu'estimée. C'est souvent le cas, par exemple, pour la structure qui peut perdurer au-delà des années de vie calculées lors du dimensionnement et qui tient compte des normes et Eurocodes. À l'inverse, des éléments utilisés quotidiennement peuvent plus vite s'endommager et donc être remplacés plus rapidement. De plus, d'autres critères peuvent entrer en compte et diminuer la durée de vie d'un bâtiment et d'éléments, tels que les évolutions normatives, un changement d'affectation ou encore des aspects subjectifs tels que l'esthétique (**Ghyoot et al., 2018**).

Dans le cadre de ce travail axé sur les matériaux, et plus précisément sur les matériaux réemployés, la durée de vie est un point qui engendre certaines questions, limites et hypothèses. En effet, comme déjà relevé précédemment dans les freins du réemploi, il est déjà complexe de prédire la durée de vie d'un matériau neuf, il est encore plus complexe d'estimer la durée de vie d'un matériau réemployé. Faut-il considérer une durée de vie identique, et ce, peu importe la nature du matériau ? Il n'est pas toujours possible de connaître le nombre d'années d'utilisation d'un matériau réemployé, comment prédire le futur temps d'utilisation ? Est-ce qu'un matériau réemployé demande une maintenance ou un éventuel remplacement plus régulier comparé à un matériau neuf ?

Toutes ces questions sortent du cadre de ce travail, cependant, pour tout de même considérer une durée de vie et ainsi obtenir des résultats, l'hypothèse prise sera d'utiliser les durées de vie définies dans Totem. L'outil a en effet déterminé des durées de vie théoriques en fonction des éléments. Il considère qu'un bâtiment et certains composants ont des durées de vie de 60 ans. Totem prend également en compte, le remplacement de certains éléments ayant des durées de vie inférieures à 60 ans (**TOTEM, 15/10/2020**). Les durées de vie considérées par Totem se retrouvent également en annexe au point 4. Enfin, les résultats obtenus tiennent compte de tous ces facteurs pour les résultats finaux d'impacts environnementaux.






Indicateurs

Comme illustré plus haut, au point III.7, décrivant l'outil Totem, il est possible d'obtenir des résultats d'impact environnemental grâce aux indicateurs, il existe deux groupes d'indicateurs, CEN et CEN+ suivant la norme EN15804 existant au sein de l'outil. Dans le cadre de ce travail, seuls les indicateurs se rapprochant le plus de l'impact des matériaux et de l'impact environnemental seront sélectionnés. Il y en a cinq qui répondent au mieux à ce critère, il s'agit des indicateurs de réchauffement climatique, des deux indicateurs d'épuisement des ressources abiotiques, des besoins en eau et, enfin, de l'utilisation de l'énergie primaire. Ils sont décrits dans le tableau ci-dessous.

De plus, il se trouve que les cinq indicateurs sélectionnés, correspondent aux indicateurs principaux au sein de Totem. C'est-à-dire que leurs résultats influencent le résultat des autres indicateurs. Considérer ces cinq indicateurs permet donc d'interpréter l'impact environnemental de manière correcte tout en étant plus simplifiée.

Indicateurs (OVAM) et (Bruxelles-Environnement, 24/03/2022) :

TABLEAU 1 : EXPLICATIONS DES INDICATEURS SELECTIONNES DANS TOTEM AVEC LES INFORMATIONS DU GUIDE TOTEM

	<p>L'indicateur « Réchauffement climatique », exprimé en Kg de CO2 équivalent, considère les émissions de gaz à effet de serre (CO2, CH4, HFC, ...) qui induisent au réchauffement climatique.</p>
<p>L'épuisement des ressources abiotiques est subdivisé en deux catégories différentes telles que les minéraux et les combustibles fossiles comme nous pouvons le voir ci-dessous. Cet épuisement de ressources abiotiques est calculé en divisant les quantités de matières premières utilisées, par leur réserve mondiale respective.</p>	
	<p>L'indicateur « Épuisement des ressources abiotiques – Minéraux et métaux » exprimé en kg Sb (antimoine équivalent), tient compte de l'épuisement des matières premières minérales, et plus précisément de minerais métalliques tels que le Fer, le Cuivre, le Plomb, le Zinc, ...</p>
	<p>L'indicateur « Épuisement des ressources abiotiques - Combustibles fossiles » exprimé en Méga Joules (MJ), tient compte de l'épuisement des combustibles fossiles tels que le gaz, le pétrole, le charbon, ...</p>
	<p>L'indicateur « Besoin en eau » en tant qu'épuisement de ressources et exprimé en m³ d'eau, considère la consommation des ressources d'eau douce.</p>
	<p>L'indicateur « Utilisation totale de l'énergie primaire » exprimé en Méga Joules (MJ) et reprenant l'ensemble des énergies primaires, renouvelables et non renouvelables, correspond à toute l'énergie nécessaire utilisée.</p>

Résultats

Enfin, maintenant que tous les choix quant à la démarche effectuée ont été détaillés, que les scénarios ont été modélisés, l'outil totem permet d'obtenir des résultats d'impact environnemental, indicateur par indicateur, pour une durée de vie de 60 ans, en considérant l'analyse de cycle de vie choisie, c'est-à-dire celle relative aux matériaux. Les résultats ressortent en mètre carré de surface de plancher brut (SPB) et dans l'unité de l'indicateur.

5) BILAN DE MATIÈRE

Enfin, un bilan de matière sera réalisé pour quantifier le taux de matériaux de réemploi utilisés dans chaque scénario. Ce taux de réemploi sera représenté sous la forme de pourcentage de matériaux réemployés et sera calculé en divisant la quantité de matériaux réemployés, sur la quantité totale de matériaux considérée dans les modélisations. Il est à noter que le pourcentage du bilan de matière du « cas différent » se base sur la même quantité de matériaux que les autres scénarios.

Le but ultime du bilan de matière est de pouvoir comparer le pourcentage de réemploi de chaque cas par rapport à l'impact environnemental généré par chaque scénario. Un bilan de matière peut être représenté dans différentes grandeurs physiques telles que le volume de matériaux ou la masse des matériaux, qui est l'unité de mesure principale. Dans le cadre de ce travail, les deux bilans de matière seront réalisés et présentés ci-dessous, car, bien que l'unité principale soit la masse, considérer un bilan de matière en volume permet de mettre en évidence les matériaux légers qui pourraient ne pas ressortir dans un bilan de masse comme c'est le cas du « cas d'étude » essentiellement réalisé en béton. Un bilan de matière sera également intégré dans le chapitre des résultats.

Bilan de matière en volume

Le bilan de matière en volume fait ressortir le nombre de mètres cube de matériaux, ainsi que la proportion de volume de matériaux au sein d'un projet. Un bilan de matière en mètre cube est facilement réalisable avec les dimensions des matériaux et permet de rapidement comprendre les proportions d'un bâtiment. Cependant, certains matériaux, tels que les isolants, peuvent être sujets à des variations de volume.

Afin de visualiser au mieux les proportions de chaque matériau compris dans le cas d'étude, la figure suivante illustre les proportions du volume des différents matériaux qui le compose.

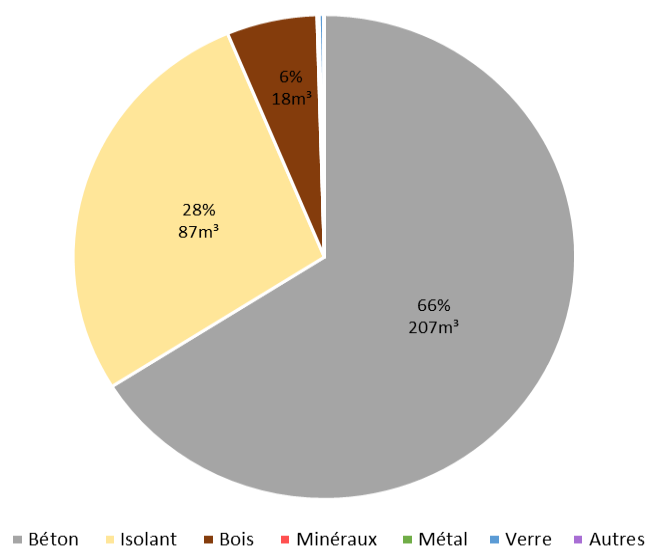


FIGURE 25: PROPORTIONS DU VOLUME DE MATERIAUX UTILISES DANS LE CAS D'ETUDE
SOURCE 25 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEURE

Il est par ailleurs possible d'établir un graphique du pourcentage du taux de réemploi, en mètre cube de chaque scénario. Illustré à la prochaine figure, ce graphique permet de rapidement distinguer le pourcentage de volume de matériaux réemployés ou non au sein de chaque cas.

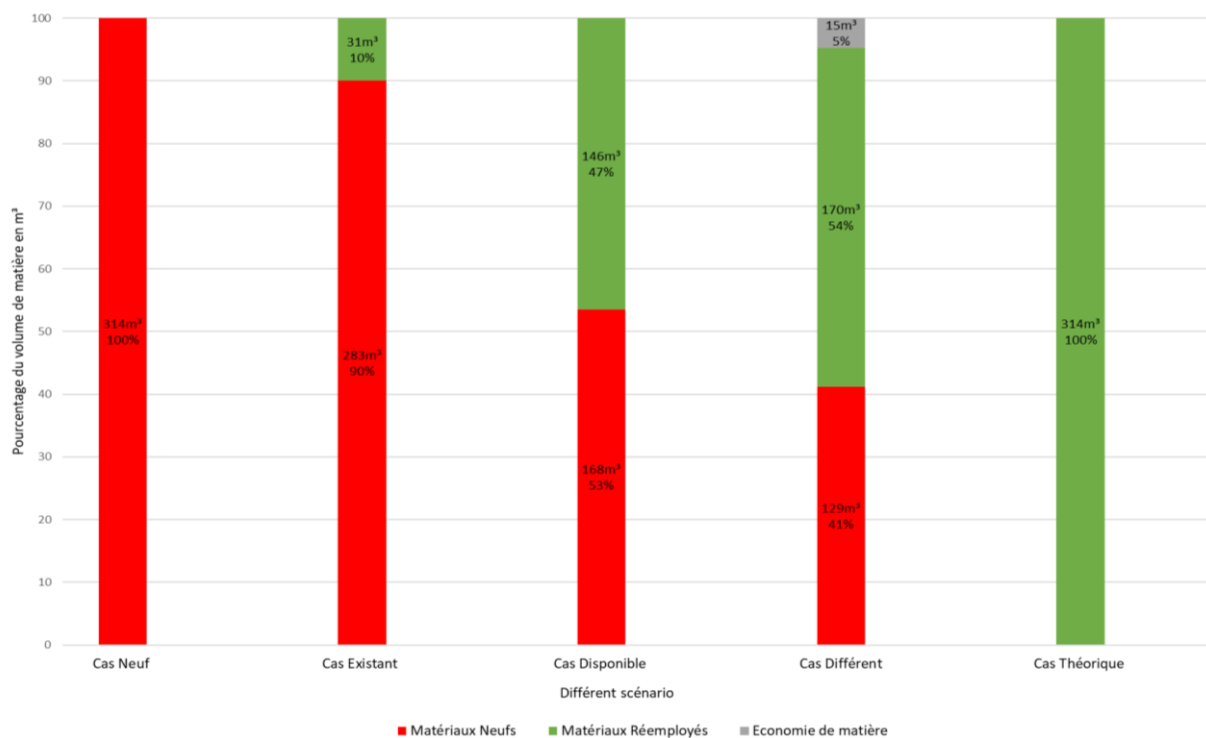


FIGURE 26 : POURCENTAGE EN VOLUME DE MATERIAUX NEUFS ET REEMPLOYES DES DIFFERENTS SCENARIOS
SOURCE 26 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEUR

Bilan de matière en masse

Le bilan de matière en masse fait ressortir le nombre de tonnes de matériaux, ainsi que la proportion en masse de matériaux au sein d'un projet.

Bien que le bilan de masse se veuille le plus précis possible, pour certains éléments, il a fallu émettre des hypothèses. En effet, pour obtenir la masse, il faut disposer de la masse volumique, qui peut varier en fonction des matériaux et de leurs compositions. Pour le bilan de masse, la masse volumique considérée a soit été définie par Totem, quand l'outil l'indiquait, soit reprise ou extrapolée à partir des données du cours de matériaux structuraux et géo matériaux (Almeida, 02/23).

Afin de visualiser au mieux les proportions en masse de chaque matériau compris dans le cas d'étude, la figure suivante illustre les proportions en tonnes des différents matériaux qui le compose.

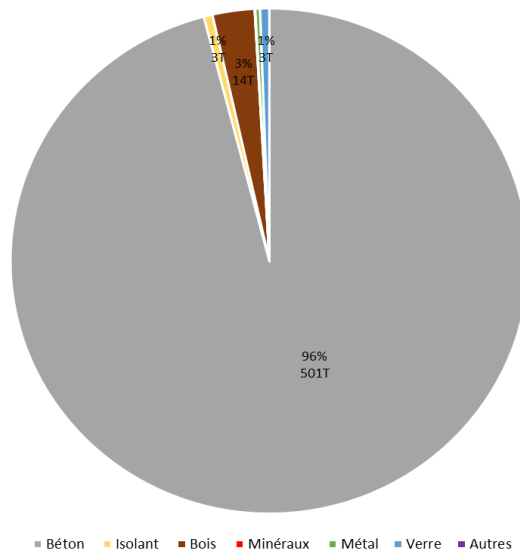


FIGURE 27 : PROPORTIONS DE LA MASSE DE MATERIAUX UTILISES DANS LE CAS D'ETUDE
SOURCE 27 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEUR

Il est également possible d'établir un graphique du taux de réemploi en tonnes de chaque scénario. Illustré à la prochaine figure, ce graphique permet de rapidement distinguer le pourcentage de masse des matériaux réemployés ou non au sein de chaque cas. Le chapitre des résultats sur l'impact environnemental permettra de voir l'influence du taux de réemploi de chaque scénario par indicateur.

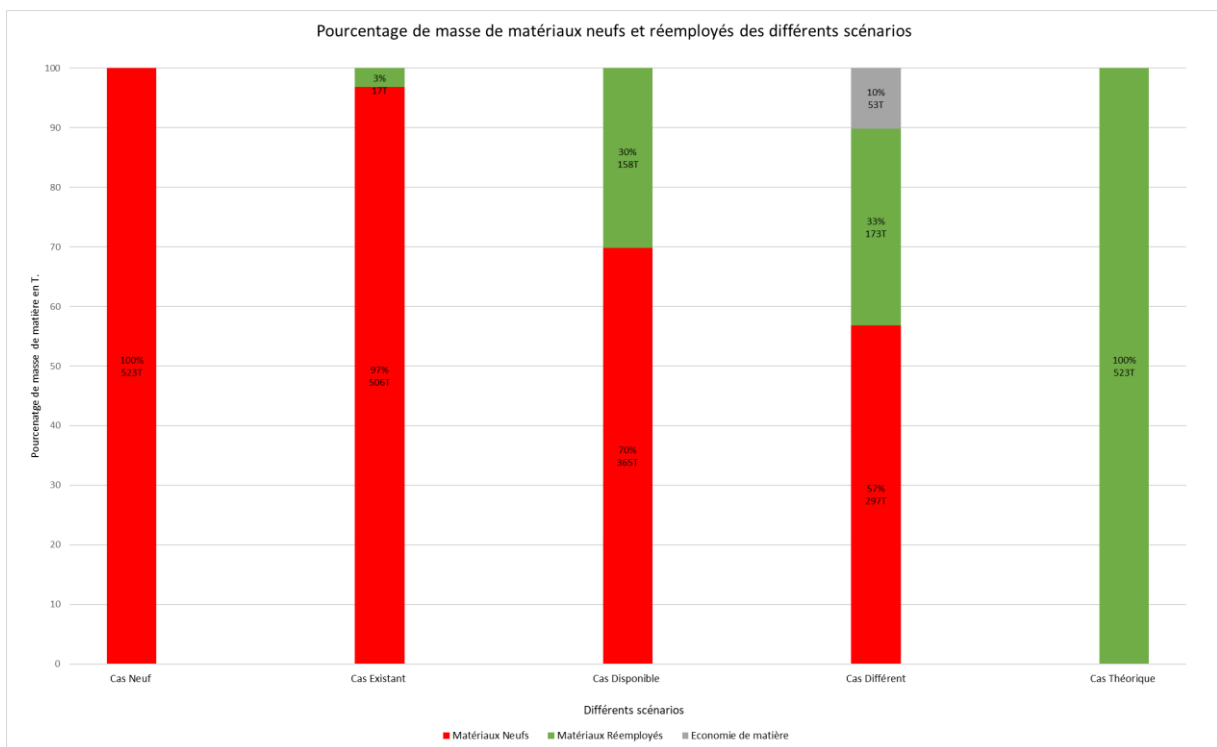


FIGURE 28 : POURCENTAGE DE MASSE DE MATERIAUX NEUFS ET REEMPLOYES DES DIFFERENTS SCENARIOS
SOURCE 28 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEUR

VII. SCÉNARIOS

L'ensemble des scénarios décrit au deuxième point du chapitre VI. Méthodologie sera présenté en détails dans ce chapitre. Pour rappel, et comme représenté à la figure ci-dessous, ces scénarios découlent du cas d'étude et ont chacun un taux de variation de matériaux de réemploi différent.

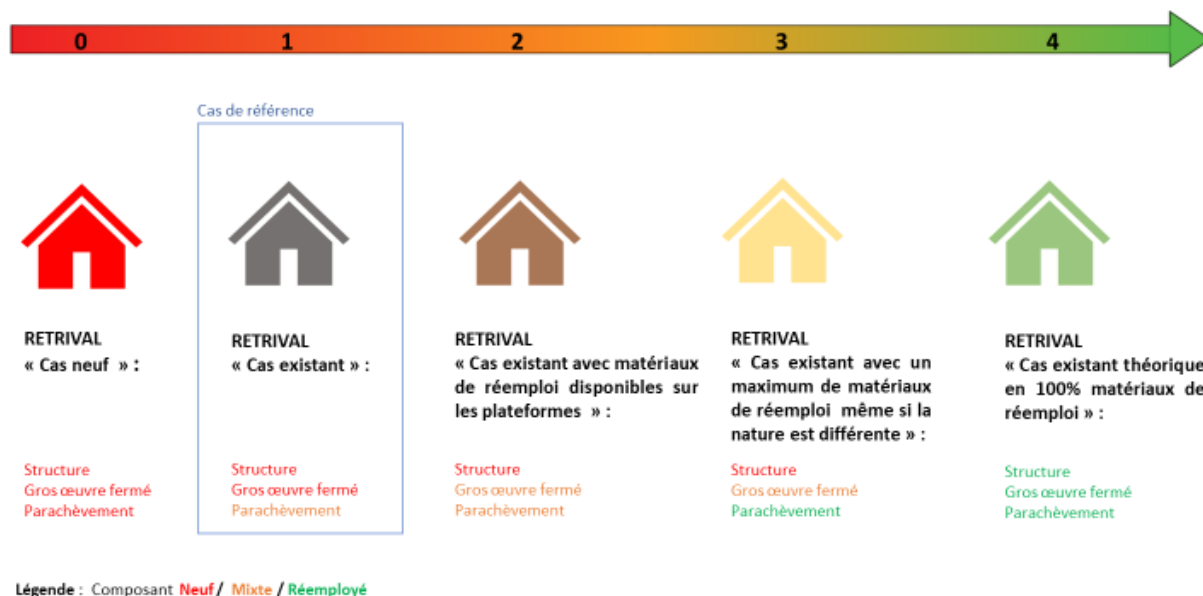


FIGURE 29 : PRESENTATION DES CINQ SCENARIOS
SOURCE 29 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEURE




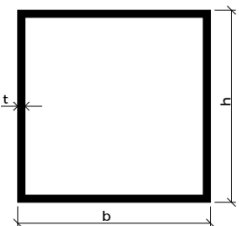
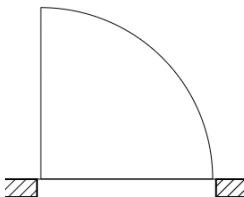
Pour décrire au mieux chaque scénario et mettre en évidence ce qui change par rapport au cas de référence, chaque scénario sera décrit dans des tableaux. Ces tableaux sont détaillés composant par composant.

Enfin, les tableaux sont subdivisés en trois colonnes. La première colonne nomme tous les éléments inclus dans le composant et intègre également un schéma de représentation généré via l'outil Totem. La deuxième colonne reprend la composition des éléments du « cas existant ». Celle-ci est légendée **en rouge pour des éléments neufs** et **en vert pour des éléments en réemploi**. Enfin, pour permettre la comparaison, la troisième colonne reprend la composition de l'élément du cas décrit.

Finalement, chaque tableau met en évidence uniquement ce qui change par rapport au « cas existant ». Les éléments qui ne changent pas par rapport au « cas existant » ne sont donc pas remis dans les tableaux.

0) RETRIVAL « CAS NEUF »

Retrival « cas neuf » reprend exactement les mêmes composants, éléments et matériaux que le « cas existant », décrit juste après, mais est uniquement composé de matériaux neufs. Enfin, comme il est possible de le voir dans le tableau suivant, qui met en évidence exclusivement les éléments modifiés par rapport au cas existant, le seul composant modifié dans le « cas neuf », est le parachèvement.

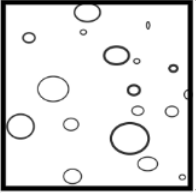
Parachèvement :		
Carrelage SDB – 10m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas neuf »
	Carreaux rigides céramique émaillée (300x300x10 mm)	Carreaux rigides céramique émaillée (300x300x10 mm)
Murs intérieurs – cloisons	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas neuf »
<p>3 types différents :</p> <p>210m²</p>  <p>12.5m²</p>  <p>10m²</p> 	<p>3 types différents :</p> <p>1) -Panneaux de particules MDF (40mm) -Isolant laine de roche (60mm) entre métal stud en acier - Panneaux de particules MDF (40mm)</p> <p>2) Double paroi vitrée (12mm)</p> <p>3) Paroi métallique, ancien coffre de banque. (équivalent métallique = 0.01m³)</p>	<p>3 types différents :</p> <p>1) -Panneaux de particules MDF (40mm) -Isolant laine de roche (60mm) entre métal stud en acier - Panneaux de particules MDF (40mm)</p> <p>2) Double paroi vitrée (12mm)</p> <p>3) Équivalent en métal = 0.01m³</p>
Portes intérieures – 20 pc	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas neuf »
	<p>- Cadre de porte en MDF vernis - Porte : panneaux MDF vernis (900x2050mm)</p>	<p>- Cadre de porte en MDF vernis - Porte : panneaux MDF vernis (900x2050mm)</p>

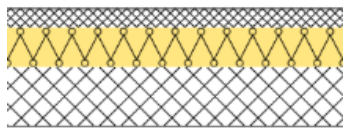
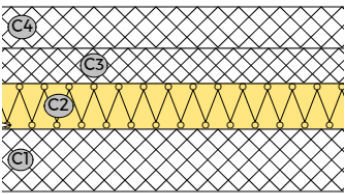
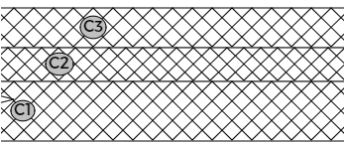
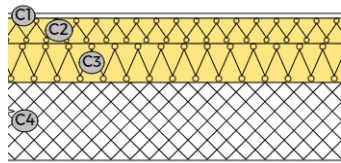
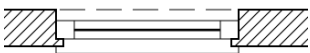
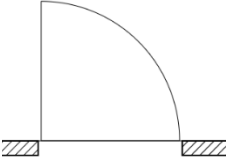
1) RETRIVAL « CAS EXISTANT »


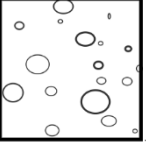
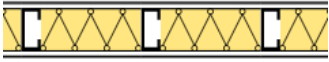

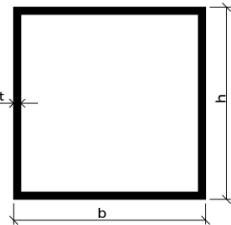
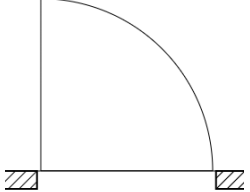
Retrival « cas existant » correspond à la modélisation du cas d'étude dans l'outil Totem. Ce scénario est repris comme le cas de référence tout au long de ce travail et correspond donc au premier scénario. Comme décrit en détail dans le chapitre V, il est composé d'une structure et d'un gros œuvre fermé neuf tandis que le parachèvement est composé d'un mix de matériaux neufs et réemployés.

Il est à noter que contrairement à la description du cas d'étude présenté précédemment, les informations relevées ici proviennent des modélisations réalisées dans l'outil Totem. Certaines données n'étant pas modifiables au sein de l'outil, il est possible que de légères variations de dimensions se fassent ressentir par rapport à la description du cas d'étude. Cependant, l'ensemble des scénarios découle de la modélisation du « cas existant » dans l'outil Totem. Les éléments comparés sont donc similaires.

Enfin, ce point décrit le « cas existant », comme déjà énoncé, il s'agit du cas de référence pour l'ensemble des comparaisons, de ce fait, la troisième colonne n'est donc pas à compléter.

La structure :		
Poutres et colonnes – 122m	Retrival « Cas existant »	
	Béton armé (400x400mm)	

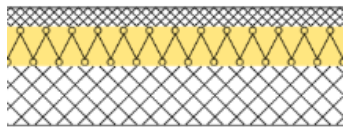
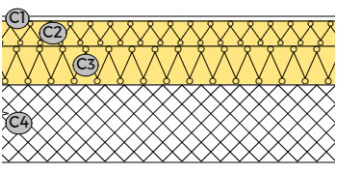
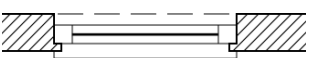
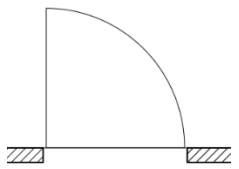
Gros œuvre fermé :		
Mur extérieur – 330m²	Retrival « Cas existant »	
	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm)	
Plancher REZ – 150m²	Retrival « Cas existant »	
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Mousse PUR (110mm) - Coulé sur site : Béton armé (150mm)	
Plancher REZ +1 – 150m²	Retrival « Cas existant »	
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm)	
Toiture – 150m²	Retrival « Cas existant »	
	- Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) - Panneau PIR (100mm) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)	
Fenêtres - 35.2m²/16pc	Retrival « Cas existant »	
	Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage	
Porte extérieure– 1pc	Retrival « Cas existant »	
	Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm)	

Parachèvement :		
Carrelage SDB – 10m²	Retrival « Cas existant »	
	Carreaux rigides céramique émaillée (300x300x10 mm)	
Escalier – 1,2m³	Retrival « Cas existant »	
	Equivalent en m ³ de : Béton armé	
Murs intérieurs – cloisons	Retrival « Cas existant »	
3 types différents : 210m ²  12.5m ²  10m ² 	3 types différents : 1) -Panneaux de particules MDF (40mm) -Isolant laine de roche (60mm) entre métal stud en acier - Panneaux de particules MDF (40mm) 2) Double paroi vitrée (12mm) 3) Paroi métallique, ancien coffre de banque. (équivalent métallique = 0.01m ³)	
Portes intérieures – 20pc	Retrival « Cas existant »	
	- Cadre de porte en MDF vernis - Porte : panneaux MDF vernis (900x2050mm)	

2) RETRIVAL « CAS DISPONIBLE »

Retrival « Cas existant avec matériaux de réemploi disponibles sur les plateformes » aussi abrégé en « **Cas disponible** » correspond au deuxième scénario. Ce cas est composé des mêmes matériaux que le « cas existant ». Cependant, afin de pousser l'utilisation de matériaux réemployés au maximum, ce cas intègre tous les matériaux réemployés qu'il est possible de trouver sur les plateformes, à condition que ces matériaux soient similaires au « cas existant ». Pour ce faire, des recherches approfondies sur les plateformes ont été effectuées, et tous les matériaux répondant à ces critères ont été sélectionnés et présentés sur les fiches matériaux reprises au deuxième point des annexes.

Comme il est possible de le constater dans les tableaux suivants, par rapport au « cas existant », ce scénario permet d'obtenir un gros œuvre fermé mixte. Le parachèvement et la structure restent quant à eux inchangés.


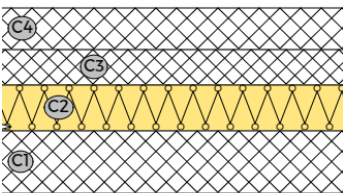
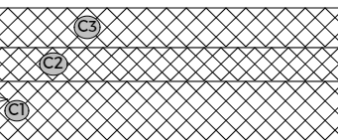
Gros œuvre fermé :		
Mur extérieur – 330m² 	Retrival « Cas existant » Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm)	Retrival « Cas disponible » Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.1)
Toiture – 150m² 	Retrival « Cas existant » - Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) - Panneau PIR (100mm) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)	Retrival « Cas disponible » - Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.8 et 2.4.9) - Panneau PIR (100mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.1 à 2.4.6) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)
Fenêtres -35.2m²/16pc 	Retrival « Cas existant » Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage	Retrival « Cas disponible » Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.2.1 à 2.2.12)
Porte extérieure – 1 pc 	Retrival « Cas existant » Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm)	Retrival « Cas disponible » Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.3)

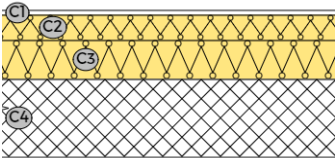
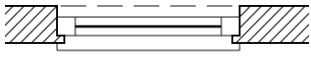
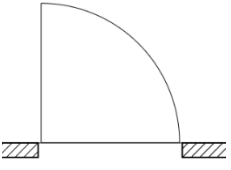
3) RETRIVAL « CAS DIFFÉRENT »

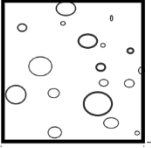
Retrival « Cas existant avec un maximum de matériaux de réemploi même si la nature est différente » aussi abrégé en « **Cas différent** » correspond au troisième scénario. Ce cas reprend le cas précédent, à savoir le « cas disponible », mais il va encore plus loin dans l'utilisation de matériaux de réemploi. Pour ce faire, et comme tous les matériaux réemployés semblables au cas d'étude et présents sur les plateformes ont déjà été introduits dans le « cas disponible », ce cas change la nature de certains éléments qui n'auraient pas encore été modifiés au préalable, par des matériaux de réemploi du même type.

Pour ce faire, des recherches approfondies sur les plateformes ont été effectuées, et tous les matériaux répondant à ces critères ont été sélectionnés et présentés sur les fiches matériaux reprises au troisième point des annexes.

Ce type de modification permet d'obtenir un parachèvement complètement réalisé à partir de matériaux réemployés, un gros œuvre mixte contenant plus de matériaux de réemploi et une structure quant à elle toujours neuve.

Gros œuvre fermé :		
Mur extérieur – 330m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas disponible »
	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm)	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.1)
Plancher REZ – 150m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas différent »
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Mousse PUR (110mm) - Coulé sur site : Béton armé (150mm)	- Carreaux rigides en ciment (200x200x16mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.8 à 2.4.9) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Panneaux PIR (100mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.1 à 2.4.6) - Coulé sur site : Béton armé (150mm)
Plancher REZ +1 – 150m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas différent »
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm)	- Carreaux rigides céramique (200x200x250mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 3.1.1 à 3.1.6) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm)

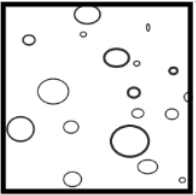
Toiture – 150m ²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas disponible »
	<p>- Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent)</p> <p>- Panneau PIR (100mm)</p> <p>- Hourdis : Béton précontraint (200mm)</p>	<p>- Feuille d'étanchéité (1mm) -Panneau EPS (65mm équivalent) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.8 et 2.4.9) - Panneau PIR (100mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.4.1 à 2.4.6) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)</p>
Fenêtres – 35.2m ² /16pc	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas disponible »
	<p>Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage</p>	<p>Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.2.1 à 2.2.12)</p>
Porte extérieure – 1pc	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas disponible »
	<p>Cadre en acier et aluminium Avec vitrage</p>	<p>Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 2.3)</p>

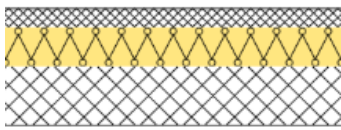
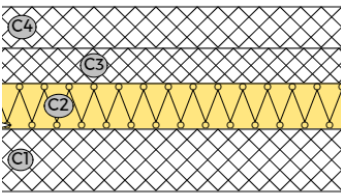
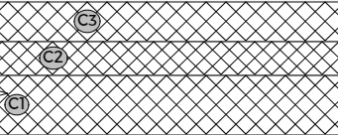
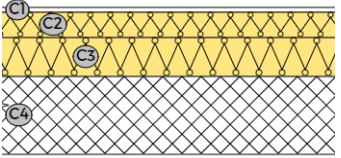
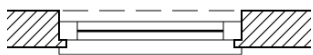
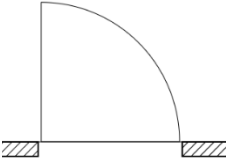
Parachèvement :		
Escalier – 1.2m ³	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas différent »
	<p>Equivalent en m³ de :</p> <p>Béton armé</p>	<p>Equivalent en m³ de :</p> <p>Bois (escalier disponible) -> Fiche matériaux n° (voir annexe 3.2)</p>

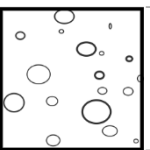
4) RETRIVAL « CAS THÉORIQUE »

Retrival « Cas existant théorique en 100% réemploi » parfois aussi abrégé en « **Cas théorique** » correspond quatrième et au dernier scénario. Ce cas est considéré comme l'équivalent du « cas existant » mais réalisé en 100% réemploi. Pour ce faire, il suffit de reprendre la modélisation du « cas existant » et de modifier la nature de l'ensemble des éléments par le statut réemploi ex-situ.

Ce cas se veut théorique ou plutôt utopique dans le sens où il n'est pas objectivement réalisable. Notamment, car le bâtiment de base intègre des éléments en béton coulé. Cependant, il est tout de même intéressant, dans le cadre de ce travail, de voir quel est l'impact généré par la structure et par l'utilisation maximale d'éléments réemployés.

La structure :		
Poutres et colonnes - 122m	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	Béton armé (400x400mm)	Béton armé (400x400mm)

Gros œuvre fermé :		
Mur extérieur – 330m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm)	Panneau sandwich préfabriqué : - Béton armé (60mm) - Isolant PUR (100mm) - Béton armé (110mm)
Plancher REZ - 150m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Mousse PUR (110mm) - Coulé sur site : Béton armé (150mm)	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Mousse PUR (110mm) - Coulé sur site : Béton armé (150mm)
Plancher REZ +1 – 150m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm)	- Sol coulé : Béton poli (100mm) - Coulé sur site : Béton (85mm) - Hourdis : Béton précontraint (150mm)
Toiture – 150m²	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	- Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) - Panneau PIR (100mm) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)	- Feuille d'étanchéité (1mm) - Panneau EPS (65mm équivalent) - Panneau PIR (100mm) - Hourdis : Béton précontraint (200mm)
Fenêtres – 35.2m²/16pc	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage	Cadre : Aluminium Vitre : Double vitrage
Porte extérieure – 1pc	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm)	Cadre en acier et aluminium Avec vitrage (900x2050mm)

Parachèvement :		
Escalier – 1,2m³	Retrival « Cas existant »	Retrival « Cas théorique »
	Equivalent en m ³ de : Béton armé	Equivalent en m ³ de : Béton armé

VIII. RÉSULTATS

Ce chapitre est consacré à la présentation et l'interprétation des différents résultats d'impacts environnementaux obtenus via l'outil Totem pour chaque scénario, ainsi que les bilans de matière qui leur sont associés.

1) BILAN DE MATIÈRE

Bien que les bilans de matière en volume et en masse aient déjà été introduits dans le chapitre VI. Méthodologie, les représenter de manière plus détaillée avant d'analyser les résultats d'impacts environnementaux semble être opportun afin de visualiser le taux de réemploi de chaque scénario. Il est à noter que ces bilans de matière sont réalisés sous forme de pourcentage par rapport à la quantité totale des matériaux du cas d'étude considéré.

Bilan de matière en volume

Le bilan en volume de matière de l'ensemble du bâtiment présenté ici en pourcentage de taux de matériaux neufs ou réemployés permet d'avoir une vision supplémentaire et différente du bilan de masse de matière couramment utilisée. Ceci permet également de mettre en avant les matériaux plus légers tel que l'isolant.

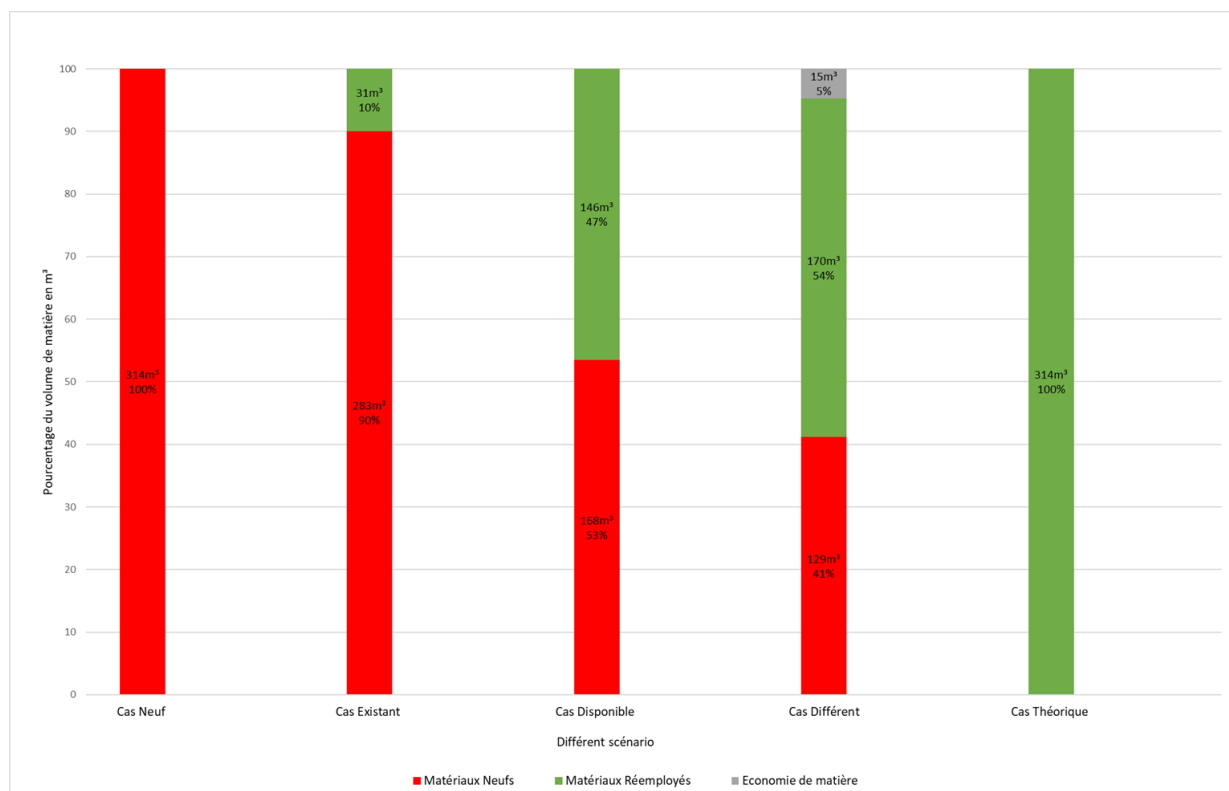


FIGURE 30 : POURCENTAGE DE VOLUME DE MATERIAUX NEUFS ET REEMPLOYES DES DIFFERENTS SCENARIOS

SOURCE 30 : SCHEMA REALISE PAR L'AUTEUR

Le bilan de volume nous permet de constater que, par rapport à une construction totalement neuve, le cas d'étude permet déjà d'obtenir un taux de réemploi. Cependant, le « cas disponible », obtient un taux de réemploi de 47 %, et ce, uniquement en considérant des éléments similaires présents sur les plateformes de revente de matériaux de réemploi. Tandis que le fait de modifier quelques matériaux avec le « cas différent » permet d'acquérir un taux plus ou moins équivalent, avec un taux de 54 % de réemploi.

Finalement, afin de rendre plus concret le graphique de taux de réemploi, la figure ci-dessous nous renseigne sur le pourcentage de volume de matières neuves ou réemployées en intégrant la nature des matériaux utilisés pour les différents scénarios.

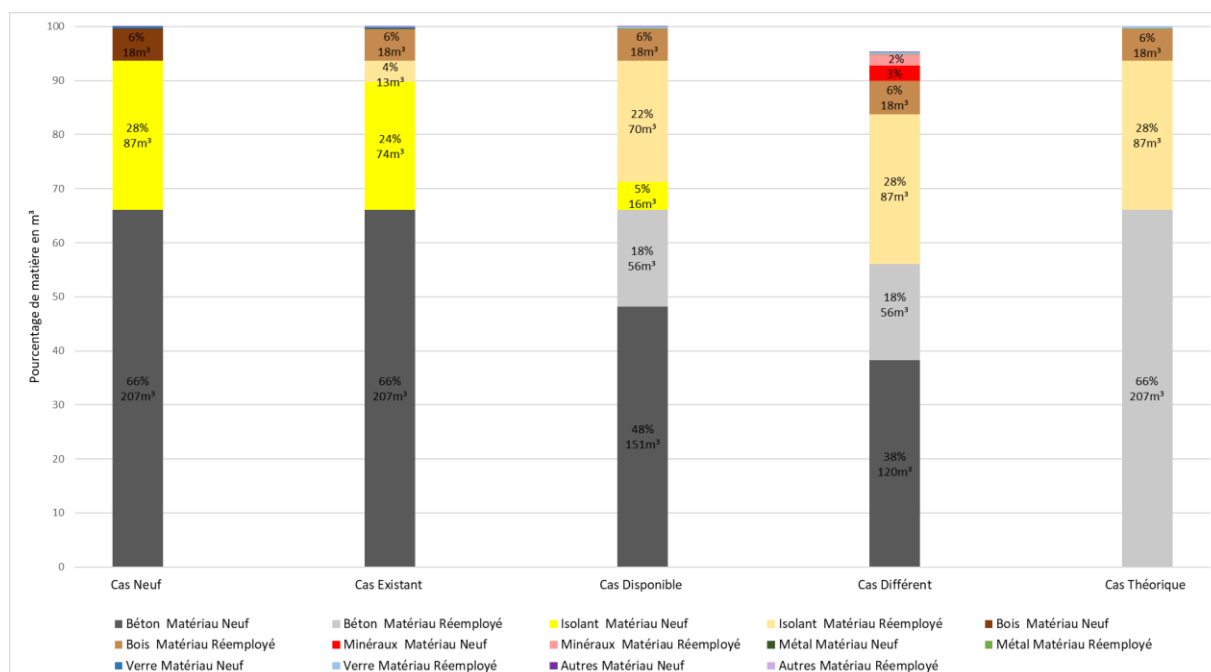


FIGURE 31 : POURCENTAGE DU VOLUME DE MATIERES NEUVES OU REEMPLOYES
SOURCE 31 : GRAPHIQUE REALISE PAR L'AUTEURE

Tout ceci nous permet de voir qu'il est tout à fait possible d'aller encore plus loin, en atteignant des résultats de taux de réemploi vraiment significatifs. Finalement, bien que ces résultats soient relatifs au cas d'étude, et utilisent, de ce fait, des matériaux identiques que ceux initialement prévus, un même procédé pourrait s'appliquer à n'importe quel autre projet pour viser des taux de réemploi proche des 50%. Un taux qui pourrait être encore plus élevé si le choix des matériaux se voulait plus flexible.

Bilan de matière en masse

Le bilan en masse de matière de l'ensemble du bâtiment présenté ici en pourcentage de taux de matériaux neufs ou réemployés est un bilan réalisé avec l'unité courante du système international à savoir le kilogramme, représenté ici en tonnes. Cependant, comme il est possible de le voir à la figure ci-dessous, on constate des taux de réemploi plus faibles qu'au bilan volume de matière, et ce, principalement car le bâtiment est majoritairement réalisé en béton, qui est un matériau lourd.

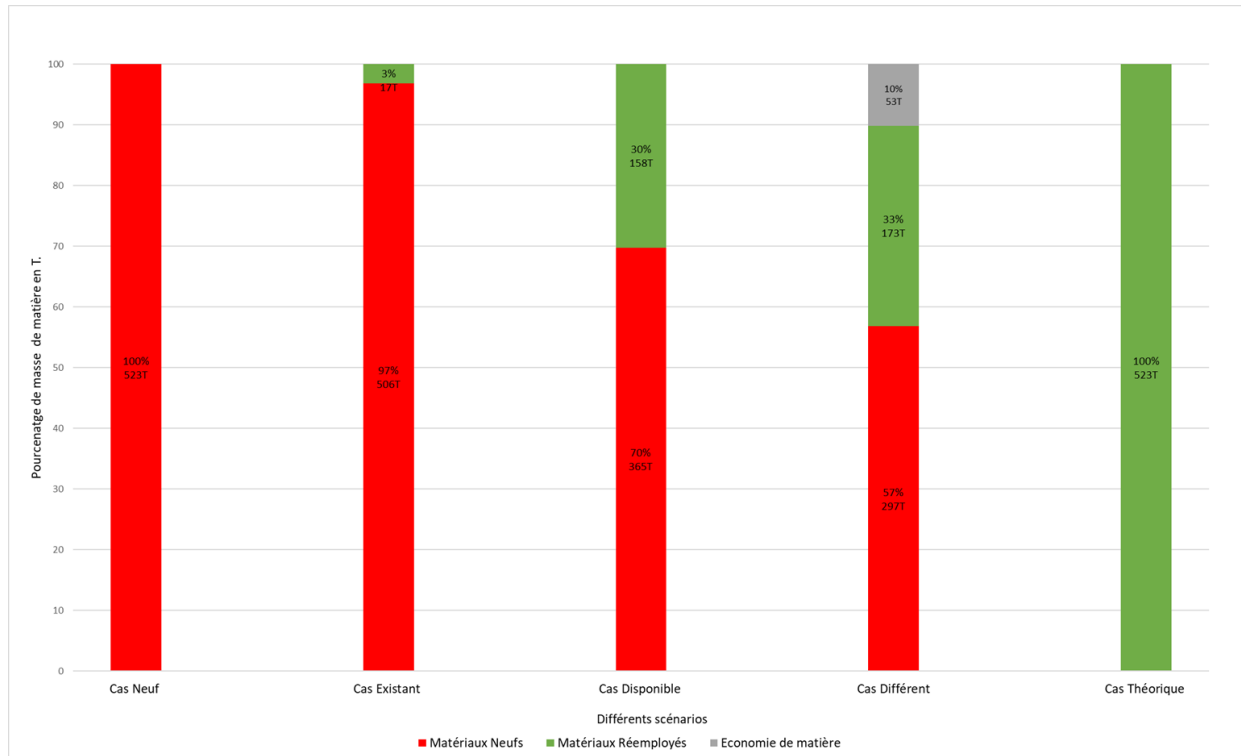


FIGURE 32 : POURCENTAGE DE MASSE DE MATERIAUX NEUFS ET REEMPLOYES DES DIFFERENTS SCENARIOS
SOURCE 32 : GRAPHIQUE REALISE PAR L'AUTEURE

Qu'il s'agisse de béton préfabriqué ou de béton coulé sur site, le bâtiment est essentiellement réalisé en béton. Ce matériau fort présent au sein du projet et ayant une masse relativement élevée, fait de lui le composant principal du bilan de masse.

Certains éléments en béton préfabriqué ont été trouvés sur les plateformes du réemploi, en l'occurrence, pour le « cas disponible » des panneaux sandwich préfabriqués réemployés ont été sélectionnés et introduits dans le scénario. C'est pour cette raison que le taux de réemploi en masse de ce cas augmente de manière considérable avec un taux de réemploi de 30%. Pour le « cas différent », le revêtement de sol initialement réalisé en béton lissé a été redéfini en carreaux de ciment ou de céramique, ce qui permet d'augmenter le taux de réemploi à 33%, ainsi que de réaliser une économie de matière de 10%.

Cependant, pour ce qui est du béton coulé sur site, il est impossible de le remplacer par un élément réemployé, et donc le taux de réemploi n'augmentera pas davantage. Ceci explique

en partie pourquoi les taux de réemploi du bilan de masse ne diminuent pas autant que le bilan de volume. Il était donc intéressant de joindre ces deux bilans de matière pour analyser les taux de réemploi.

Finalement, afin de rendre plus concret le graphique de taux de réemploi, la figure ci-dessous nous renseigne sur le pourcentage en masse de matières neuves ou réemployées en intégrant la nature des matériaux utilisés pour les différents scénarios.

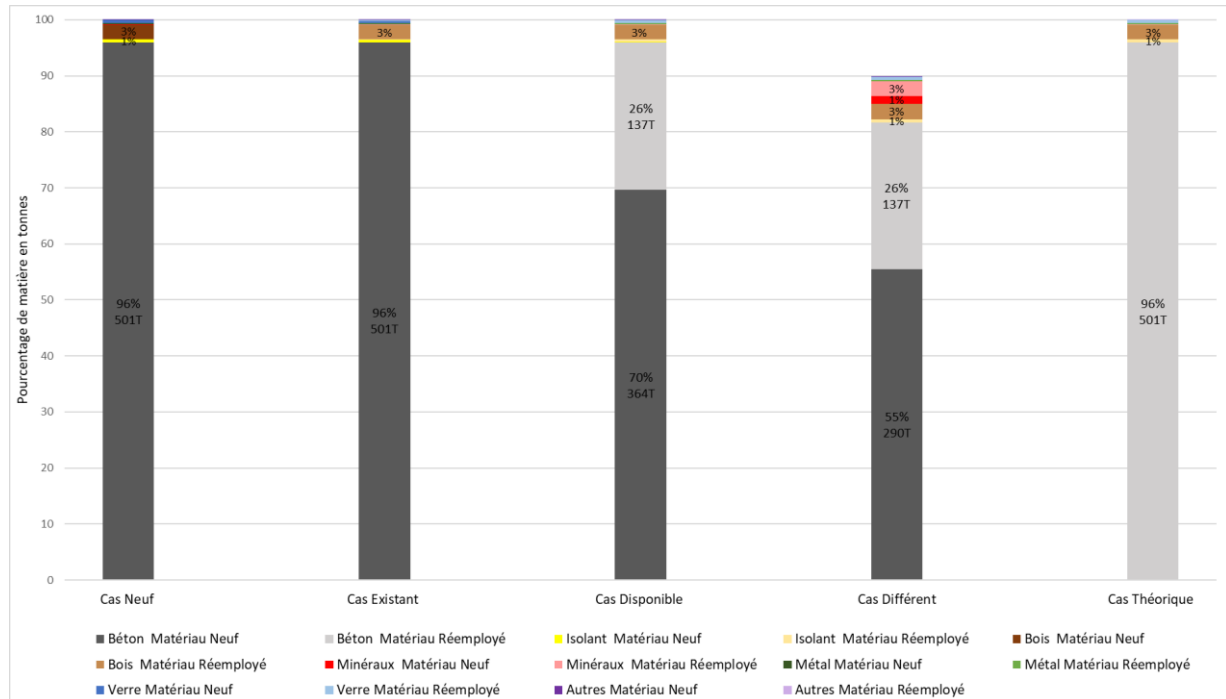


FIGURE 33 : POURCENTAGE DE MASSE DE MATIERES NEUVES OU REEMPLOYES

SOURCE 33 : GRAPHIQUE REALISE PAR L'AUTEURE

Après avoir considéré les deux bilans de matière, en masse qui est l'unité courante, ainsi qu'en volume, force est de constater qu'avec un bâtiment massif, comme c'est le cas du bâtiment Retrieval principalement réalisé en béton, il est plus intéressant de considérer le bilan de matière en volume qui reflète mieux la quantité d'éléments réemployés incorporés au sein des différents scénarios.

2) IMPACT PAR INDICATEURS

Ce point présente les résultats d'impacts environnementaux obtenus suite aux différentes modélisations des scénarios réalisés via Totem. Comme évoqué précédemment, Totem évalue l'impact environnemental au travers de divers indicateurs. Le choix des indicateurs sélectionnés, à savoir le réchauffement climatique, les épuisements de ressources abiotiques, le besoin en eau et l'utilisation d'énergie primaire à fait l'objet d'explications complètes dans le chapitre VI. Méthodologie, au point 4. Enfin, il est important de rappeler que tous les résultats obtenus sont calculés par surface de plancher brut (SPB).

Résultats généraux via Totem

Dans un premier temps, les résultats d'impacts environnementaux obtenus via Totem pour l'ensemble des différents scénarios sont collectés et ressortis indicateur par indicateur. Tel que présenté dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 2 : RESULTATS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX VIA TOTEM

Indicateurs	Cas neuf	Cas existant	Cas disponible	Cas différent	Cas théorique	Unité
Réchauffement Climatique	567	515	333	253	161	Kg CO2 éq.
Epuisement des ressources abiotiques Minéraux	0,0038	0,0017	0,0008	0,00071	0,0006	Kg Sb éq.
Epuisement des ressources abiotiques Combustibles	6152	5408	3359	2738	1971	MJ
Besoin en eau	238	209	131	105	70	M ³
Utilisation énergie primaire	8296	6916	4295	3491	2518	MJ net calorific value

Ce premier tableau nous permet déjà de constater une diminution d'impact environnemental entre chaque scénario, pour le même indicateur. Cependant, il n'est pas aisé d'interpréter ces résultats. Afin de les rendre plus lisibles, un pourcentage relatif sera réalisé entre chaque scénario.

Résultats en pourcentage relatif

Afin de mieux comparer les résultats et dans le but d'obtenir des graphiques plus lisibles et visuels, les différents scénarios vont être comparés via un pourcentage relatif. Le pourcentage relatif découle du calcul de l'écart relatif, obtenu de cette façon : **(Calcul écart relatif)**

- Si la valeur mesurée est plus grande que la valeur de référence :

$$\text{écart relatif} = \left| \frac{\text{valeur mesurée} - \text{valeur de référence}}{\text{valeur de référence}} \right|$$

- Si la valeur de référence est plus grande que la valeur mesurée :

$$\text{écart relatif} = \left| \frac{\text{valeur de référence} - \text{valeur mesurée}}{\text{valeur de référence}} \right|$$

Pour ce faire, le « cas existant » qui se trouve être la réalité construite, a été considéré comme la valeur de référence, c'est-à-dire que le cas d'étude représente les 100%. Les résultats de ces pourcentages relatifs sont visibles dans le tableau suivant, ainsi que dans le graphique qui lui est associé. Le fait d'exprimer ces résultats en pourcentage nous permet d'interpréter plus aisément les données.

TABLEAU 3 : RESULTATS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX EN POURCENTAGE RELATIF

Indicateurs	Cas neuf	Cas existant	Cas disponible	Cas différent	Cas théorique	Unité
Réchauffement Climatique	110	100	65	49	31	Kg CO2 éq.
Épuisement des ressources abiotiques Minéraux	224	100	48	42	32	Kg Sb éq.
Épuisement des ressources abiotiques Combustibles	114	100	62	51	36	MJ
Besoin en eau	114	100	63	50	33	M ³
Utilisation énergie primaire	120	100	62	50	36	MJ net calorific value

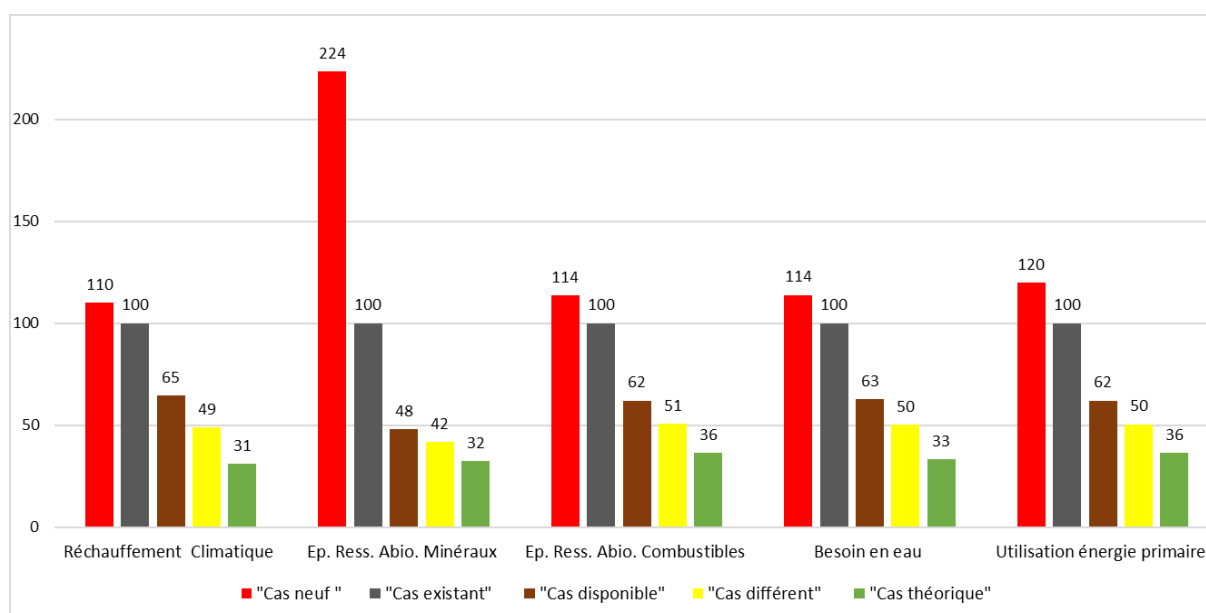


FIGURE 34 : GRAPHIQUE DES RESULTATS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX EN POURCENTAGE RELATIF
SOURCE 34 : REALISATION FAITE PAR L'AUTEURE

Premièrement, on remarque que de manière générale, à l'exception de l'épuisement des ressources abiotiques minérales, qui sera abordé par la suite, les autres indicateurs ont, dans l'ensemble, des pourcentages relativement similaires et l'impact environnemental de chaque scénario diminue de manière équivalente entre chaque indicateur. Comme les résultats obtenus concernant le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources abiotiques combustibles, le besoin en eau et l'utilisation de l'énergie primaire se reflètent plus ou moins entre eux, nous ciblerons les réflexions selon un seul indicateur et les autres indicateurs suivront de ce fait la même logique.

Si nous considérons l'indicateur changement climatique, nous pouvons constater qu'entre le « cas neuf » et le « cas existant », l'impact environnemental baisse de 10%, pour un taux de réemploi en volume de 10% dans le « cas existant ». Or, selon Totem, pour réduire le score

environnemental, il faut obtenir une différence d’au moins 20% pour permettre une amélioration significative au sein d’un projet. **(Totem)**

Cependant, toujours en se basant sur l’indicateur du changement climatique, une différence de 35% se fait déjà ressentir entre le « cas existant » et le « cas disponible » et ce, uniquement en introduisant des matériaux identiques mais en réemploi présents sur les plateformes, pour un taux de réemploi en volume de 47% pour le « cas disponible ».

Si on fait un petit aparté intéressant, pour comparer le « cas neuf » qui représente tout de même la majorité des constructions actuelles avec le « cas disponible », qui, rappelons-le, introduit un maximum d’éléments similaires en réemploi, en considérant cette fois le cas neuf comme valeur de référence, on obtient alors une diminution d’impact environnemental de 41% entre le « cas neuf » et le « cas disponible » atteignant cette fois-ci 59 %.

Ensuite, le « cas différent » va encore plus loin en diminuant son impact environnemental de moitié par rapport au « cas existant ». Il affiche donc un score environnemental de 49% pour un taux de réemploi en volume de 54% avec une économie de matière de 5% par rapport aux autres cas.

Enfin le dernier scénario « cas théorique » en 100% réemploi génère un impact environnemental de 31% ce qui représente donc une baisse de 69% par rapport au cas d’étude, toujours pour l’indicateur réchauffement climatique. Ce cas, fera également l’objet de plus d’explications lors de la discussion.

Finalement, afin de réintroduire les résultats obtenus initialement, le graphique suivant, exprimé en pourcentage relatif, avec les valeurs des indicateurs, permet d’obtenir une vision plus claire des résultats.

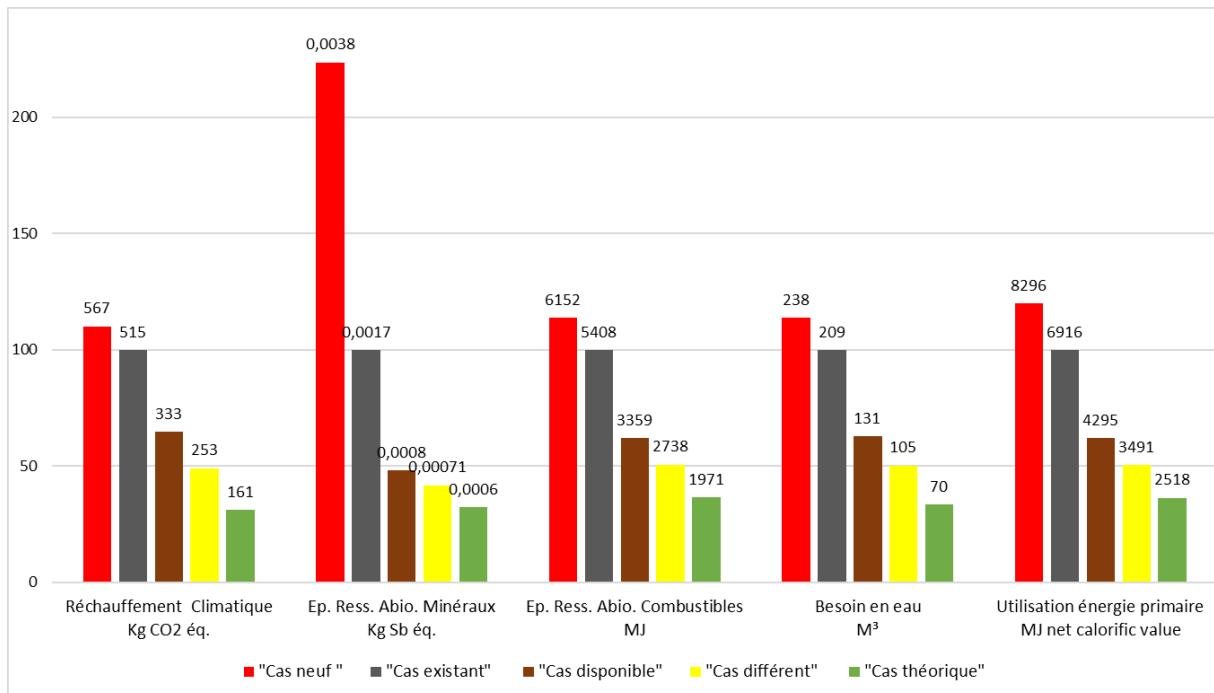


FIGURE 35 : RESULTATS D’IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX VIA TOTEM

SOURCE 35 : REALISATION FAITE PAR L’AUTEURE

Résultats en pourcentage relatif avec les proportions des composants

Maintenant que les résultats d'impacts environnementaux sont établis, il était également intéressant de connaître les proportions entre les différents composants tels que la structure, le gros œuvre fermé et le parachèvement, afin de savoir quels composants impacteraient le plus l'environnement. Ceci permettrait d'apprendre quel composant serait plus favorable ou défavorable, et sur lequel il vaudrait mieux agir en priorité.

Il faut tout de même noter que, dans le cadre de ce travail, et comme décrit dans les différents tableaux du chapitre V. Cas d'étude, le gros œuvre est le composant qui reprend le plus grand nombre d'éléments. On se doute donc que ce poste aura la plus grande proportion au niveau de l'impact environnemental. Il était tout de même pertinent de découvrir quel rôle joue le parachèvement. Ou encore quel impact génère la structure. Si l'impact structural est conséquent, alors intégrer des éléments de réemploi est essentiel pour faire diminuer ce score environnemental et un travail conséquent est encore à réaliser pour proposer des éléments structurels sur les plateformes du circulaire. Au contraire, si son impact est faible, il pourrait être intéressant d'envisager une structure neuve, notamment étant donné leur faible présence sur les plateformes, en plus des calculs conséquents dus à leur utilisation, et d'intégrer tous les autres composants en maximum de réemplois.

Comme illustré dans le tableau et le graphique suivant, la proportion des composants calculée en pourcentage et basée sur le pourcentage relatif exprimé précédemment, correspond au rapport entre le composant et le résultat total d'impact environnemental dépendant de l'indicateur et du scénario.

TABLEAU 4 : PROPORTIONS ENTRE LES COMPOSANTS

Indicateurs	Cas neuf			Cas existant			Cas disponible			Cas différent			Cas théorique		
	Structure	Gros œuvre	Parement	Structure	Gros œuvre	Parement	Structure	Gros œuvre	Parement	Structure	Gros œuvre	Parement	Structure	Gros œuvre	Parement
Réchauffement Climatique	7	87	15	7	87	5	7	52	5	7	37	4	1	26	5
Ep. Ress. Abio. Minéraux	4	75	143	4	75	20	4	24	20	4	18	20	1	12	20
Ep. Ress. Abio. Combustibles	6	89	19	6	89	5	6	51	5	6	40	5	2	30	5
Besoin en eau	7	88	19	7	88	5	7	51	5	7	39	4	0	29	4
Utilisation énergie primaire	6	88	27	6	88	7	6	50	7	6	38	6	1	29	6

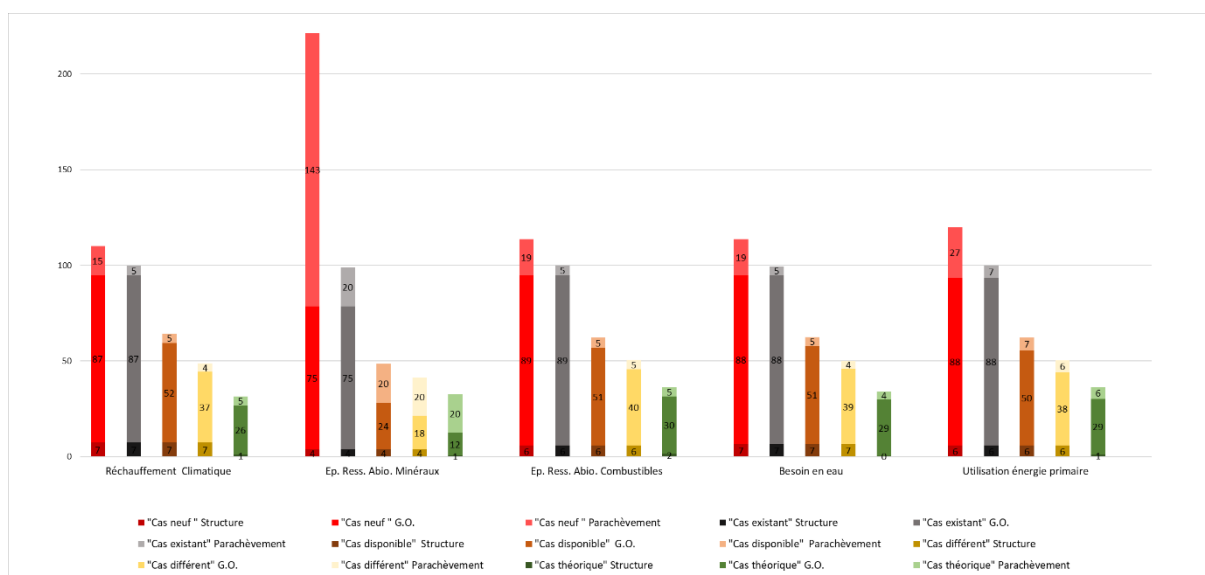


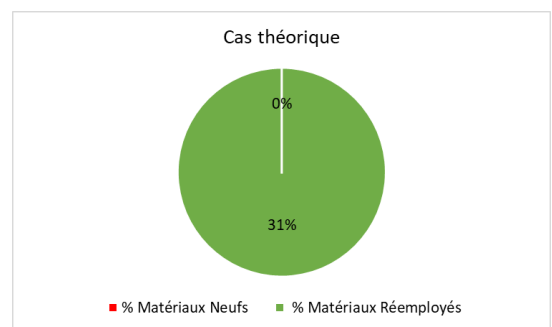
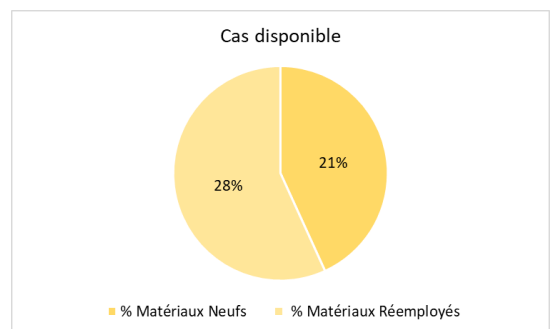
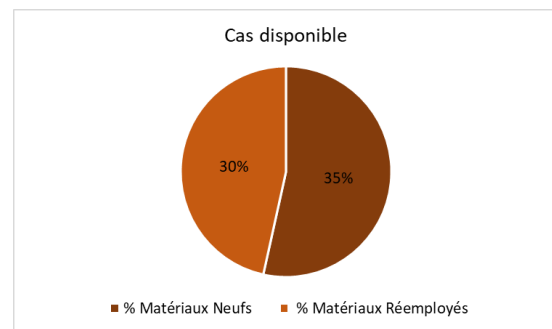
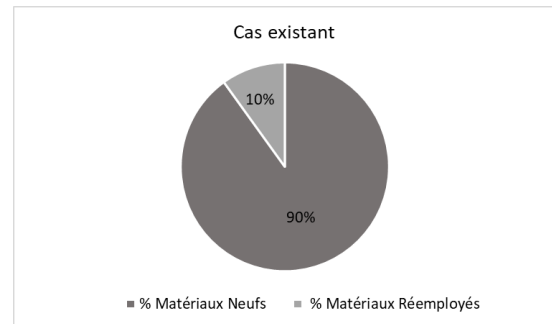
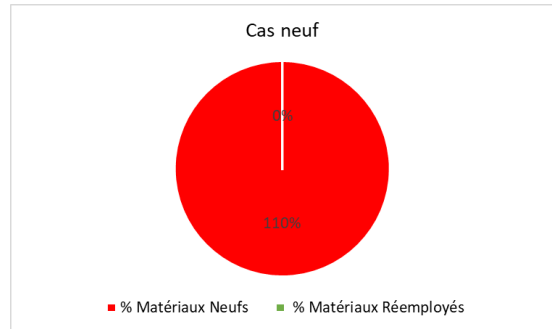
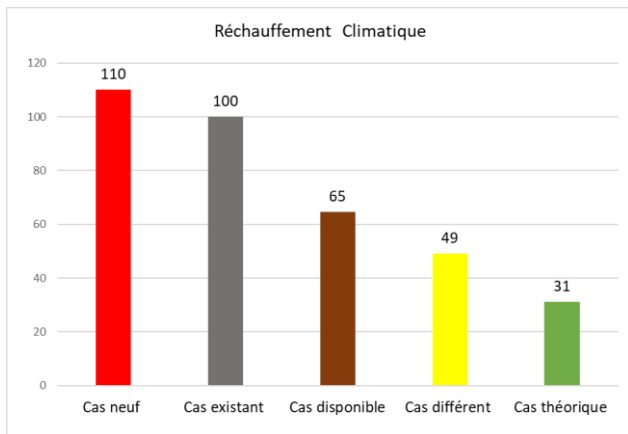
FIGURE 36 : GRAPHIQUE DES PROPORTIONS ENTRE LES COMPOSANTS
SOURCE 36 : REALISATION FAITE PAR L'AUTEURE

Si l'on se concentre toujours sur l'indicateur réchauffement climatique, on peut constater que, comme on le supposait, l'impact du gros œuvre est le plus important. Dans le « cas neuf », on remarque que le parachèvement obtient un score deux fois plus grand que la structure. Et contrairement à ce qu'on aurait pu penser, la structure ne génère pas un si grand impact. On découvre également que l'impact du parachèvement a diminué d'un tiers entre le « cas neuf » et le « cas existant » suite à l'utilisation, entre autres, de cloisons réemployées. Enfin, le « cas disponible » et le « cas différent » font baisser considérablement l'impact environnemental du gros œuvre avec une différence respective de 35% et de 50% par rapport au « cas existant ». Finalement, une fois arrivé au « cas différent » on s'aperçoit, par ailleurs, que l'impact de la structure, qui ne semblait pas si important pour le « cas neuf » et qui, rappelons-le, garde le statut neuf jusqu'au « cas différent » compris, paraît dorénavant plus conséquent. On observe alors que, pour passer sous la barre des 50% du score environnemental initial, il est nécessaire d'introduire des éléments de structure réemployés avec le « cas théorique ».

Rapport entre le bilan de matière et les indicateurs d'impact environnementaux.

Une fois l'ensemble des résultats d'impact environnemental exposé, intégrer le taux de matériaux réemployés en volume de chaque scénario dans les résultats des indicateurs d'impact environnemental, permettrait d'avoir une vision claire du score environnemental généré en fonction de la proportion de matériaux réemployés.

Pour obtenir des proportions correctes de taux de réemploi en volume en fonction des résultats des indicateurs, nous sommes partis de la valeur de l'indicateur, dans lequel nous avons intégré le pourcentage de taux de matériaux neufs ou réemployés. Pour ce faire, nous nous sommes d'abord concentrés sur un indicateur, tel que le réchauffement climatique exposé à la page suivante, avant de présenter l'ensemble des résultats par après.



Ceci nous permet donc de voir aisément le pourcentage de matériaux neufs ou réemployés au sein de chaque scénario par rapport à la valeur de l'indicateur.

Il est à noter que le bilan de matière est réalisé en tenant compte de la quantité de matière considérée au sein de chaque scénario. Le « cas différent » réalisant une économie de matière par rapport aux autres scénarios obtient donc des proportions légèrement différentes en raison de sa plus faible quantité de matière.

Finalement, le pourcentage de taux de réemploi en volume en fonction des résultats des indicateurs pour chaque scénario et pour chaque indicateur est présenté à la figure ci-dessous.

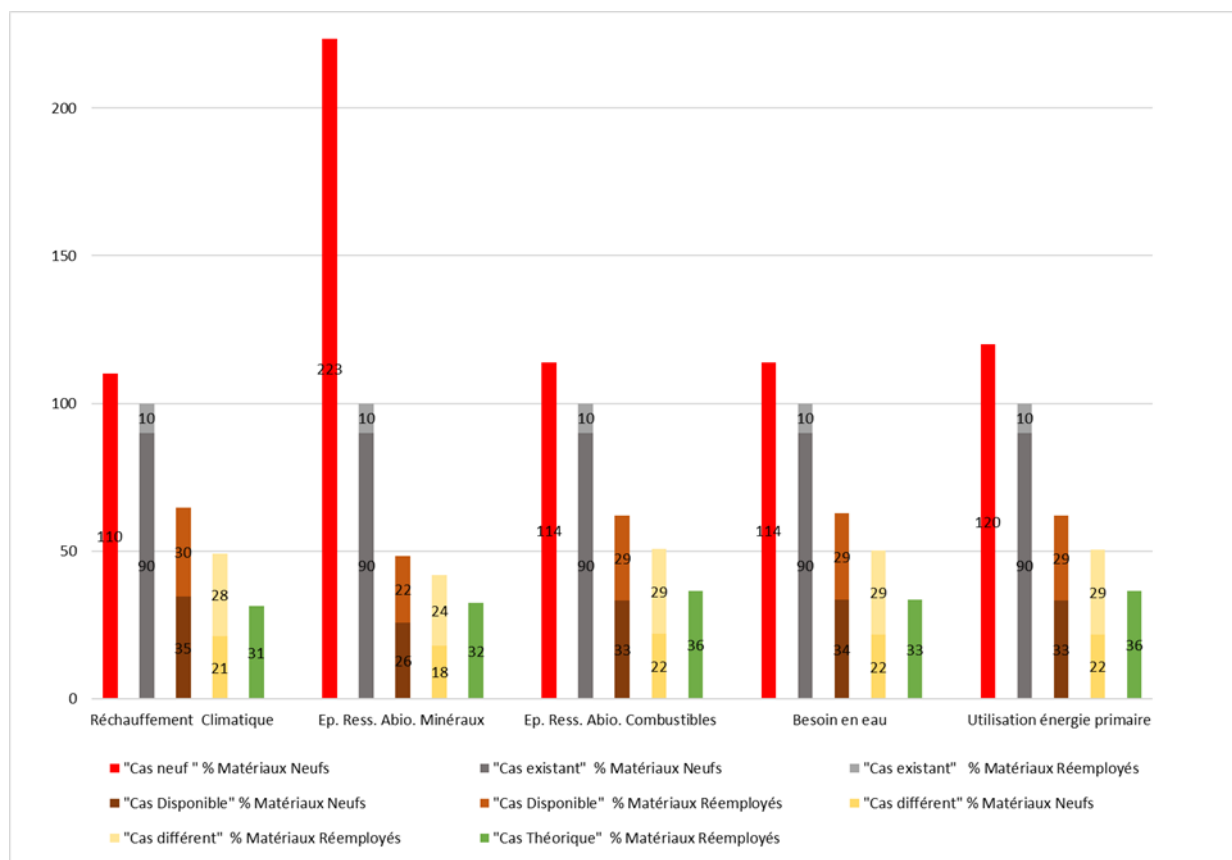


FIGURE 37 : POURCENTAGE DU TAUX DE REEMPLOI EN VOLUME AU SEIN DE CHAQUE INDICATEUR

SOURCE 37 : GRAPHIQUE REALISE PAR L'AUTEURE

IX. DISCUSSION

Ce chapitre se veut complémentaire au chapitre des résultats, en plus de la présentation et l'interprétation de ceux-ci, ce chapitre a pour objectif de proposer un retour critique sur certains points. Afin d'alimenter cette discussion, le graphique des résultats obtenus via Totem ainsi que le pourcentage relatif, présenté précédemment, sera réintroduit ici pour illustrer les propos.

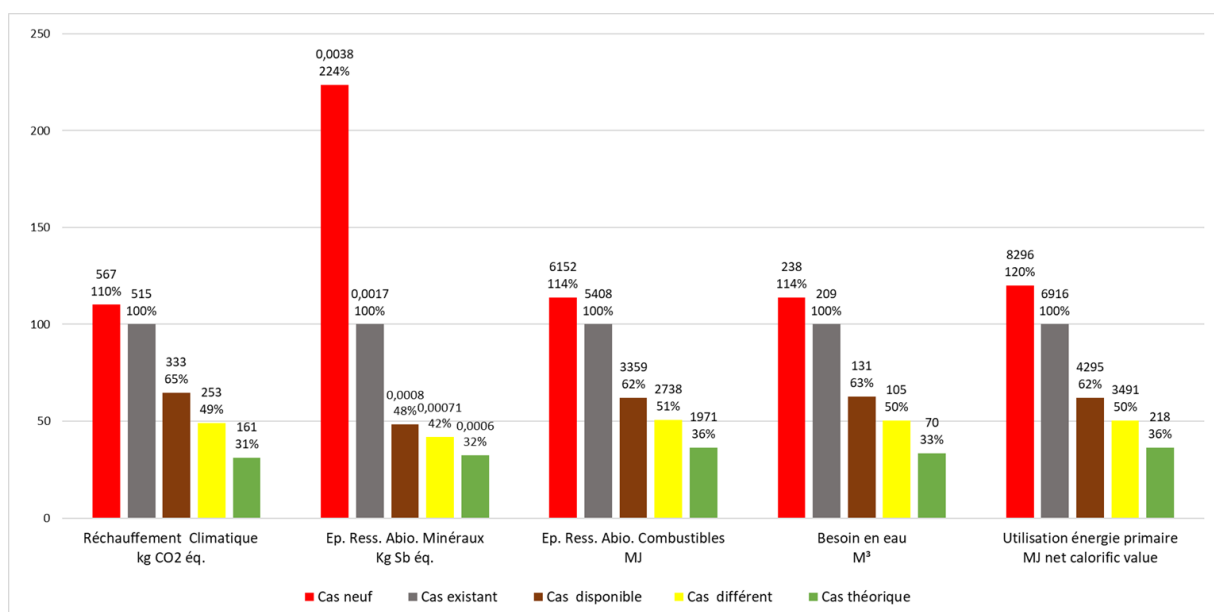


FIGURE 38 : GRAPHIQUE DES RESULTATS D'IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX EN POURCENTAGE RELATIF
SOURCE 38 : REALISATION FAITE PAR L'AUTEURE

Premièrement, comme évoqué dans le chapitre précédent, on remarque que, de manière générale, les résultats d'impacts environnementaux pour le réchauffement climatique, l'épuisement des ressources abiotiques combustibles, le besoin en eau et l'utilisation de l'énergie primaire obtiennent des valeurs semblables en termes de pourcentage pour chaque scénario. Comme mentionné dans le chapitre VI. Méthodologie, ces indicateurs ont été sélectionnés, car il s'agit des indicateurs de flux primaire, et donc principaux au sein de Totem. On constate ici, que, malgré le fait que chaque indicateur apporte une information supplémentaire, la sélection d'un indicateur unique, comme le réchauffement climatique par exemple, reflétant l'ensemble des comportements des autres indicateurs, aurait peut-être été suffisant pour généraliser l'impact environnemental. En effet, le réchauffement climatique exprimé en kilogramme de CO₂ équivalent est une notion connue et couramment utilisée lors d'évaluation environnementale.

Deuxièmement, les ressources abiotiques minérales n'ont pas réellement été abordées dans le chapitre VII. Résultats, afin d'être discutées ici. En effet, l'épuisement des ressources abiotiques est une catégorie d'impact assez contestée dans l'analyse du cycle de vie (ACV) (Guinée, 2016)

On constate que Totem considère qu'entre le « cas neuf » et le « cas existant » l'impact sur les ressources minérales diminue de moitié, dû à l'épuisement et l'extraction des minéraux et des métaux. Il en va de même entre le « cas existant » et le « cas disponible » car le « cas disponible » intègre une grande quantité de matériaux réemployés. L'impact réduit encore légèrement avec le « cas différent » et le « cas théorique ». Totem estime donc que les minéraux extraits ne constituent plus des ressources.

Dans leur document *The Abiotic Depletion Potential : Background, Updates, and Future*, les auteurs affirment qu'il n'existe pas de méthode scientifique « correcte » pour caractériser l'épuisement des ressources abiotiques, mais qu'il vaudrait mieux considérer la masse des matériaux en kilogramme, car les matériaux extraits deviennent également des futures ressources **(Guinée, 2016)**.

Enfin, bien que cet indicateur soit contesté, il était tout de même intéressant d'introduire une notion de matériaux minéral dans le cadre de ce travail, et d'analyser ce que Totem considérait.

Troisièmement, lors de l'obtention des premiers résultats, le « cas théorique » était plutôt surprenant. En effet, pour un scénario utopique en 100% réemploi, on aurait pu imaginer un impact environnemental plus faible. Ces résultats s'expliquent de par le fait que Totem, lorsqu'on introduit un élément réemployé ex-situ dans les modélisations, ne tient plus compte des phases A1-A3 de production, mais Totem tient toujours bien compte des phases A4-A5 de transport et de construction, des phases B2 et B4 de maintenance et de remplacement, ainsi que des phases C1-C4 de fin de vie. Comme abordé dans le chapitre VI. Méthodologie avec l'impact environnemental via Totem, on aurait pu ne pas tenir compte de la phase de fin de vie C1 à C4, dans l'optique d'une réutilisation future. Cependant, il n'est pas encore possible d'effectuer ce genre de démarche au sein de l'outil. Il était donc préférable de considérer une fin de vie pour les résultats d'impact environnementaux. Il est tout de même à noter qu'une phase D1-D4, intégrant ces valeurs de réutilisation, devrait bientôt voir le jour dans Totem.

Bilan des résultats

Finalement, malgré les efforts mis en place dans le « cas existant », les résultats d'impacts environnementaux n'atteignent pas une différence de 20% avec le « cas neuf » pour obtenir des résultats significatifs. En dépit de ce pourcentage de différence non atteint, une différence d'impact de 10% se fait déjà ressentir. C'est un effort à tout de même mettre en avant par rapport l'ensemble des constructions neuves « classiques » actuelles, c'est-à-dire, n'intégrant aucun matériaux de réemploi.

Cependant, les résultats deviennent réellement significatifs lorsque à la place des matériaux neufs initialement prévus, on considère des matériaux réemployés similaires. Enfin, en considérant déjà ceci et en poussant la démarche un peu plus loin, changer légèrement la nature de certains matériaux permet d'obtenir des résultats affichant jusqu'à la moitié de l'impact environnemental initial.

Bien que ces résultats soient basés sur un cas d'étude, la démarche pourrait être appliquée à n'importe quel projet de construction afin de diminuer considérablement son impact environnemental.

Malgré le fait que la recherche de matériaux soit parfois longue, en plus des divers freins qu'il est possible de rencontrer, l'ensemble de ces résultats nous prouve bien qu'il est possible d'aller plus loin. Tandis qu'un travail conséquent est nécessaire pour maintenir, ainsi que de faire évoluer les progrès réalisés autour du réemploi. Cette recherche prouve qu'il est tout à fait réalisable de pousser l'utilisation de matériaux réemployés au maximum en fonction de la disponibilité sur les plateformes.

X. LIMITES ET PERSPECTIVE

Ce chapitre a pour but d'exprimer les limites de cette recherche de manière large. Notamment en mettant en avant ce qui aurait pu faire partie de la recherche, mais qui sortait du cadre d'un travail de fin d'étude.

1) IMPACT SOCIO-ÉCONOMIQUE

Bien que l'objectif de ce travail soit de pousser l'utilisation des matériaux de réemploi dans la construction neuve afin de favoriser l'impact environnemental ainsi que l'économie circulaire, tout ceci rentre également dans une démarche de développement durable.

Le développement durable est défini dans le rapport de Brundtland de la Commission mondiale comme étant : « Un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » (**Europe**). Les trois piliers du développement durable sont donc l'environnement, l'économie et le social. Les Nations Unies ont lancé un programme de développement durable pour l'horizon 2030 en définissant les 17 objectifs de développement durable (ODD) tel qu'illustré ci-dessous. (**SPW**)



FIGURE 39 : OBJECTIFS DU DEVELOPPEMENT DURABLE
SOURCE 39: SPW - LE DEVELOPPEMENT DURABLE EN WALLONIE

Initialement, en plus de l'impact environnemental du réemploi, cette recherche aspirait à tenir compte de l'impact économique et l'impact social que générerait le réemploi. Cependant, les données relatives à ces deux autres piliers du développement durable entraînaient beaucoup d'inconnues et d'incertitudes, décrites par après, en plus d'une quantité de travail conséquente qui sortait du cadre d'un travail de fin d'étude.

Finalement, l'impact socio-économique n'a donc pas été considéré dans ce travail, mais fera tout de même l'objet de ce point afin de s'inscrire dans une approche de développement durable. Les pistes d'actions et les limites relatives à ces deux piliers seront clairement énoncées dans les sous points suivants.

1.1) Impact économique

Comme évoqué précédemment, initialement ce travail de fin d'étude avait pour ambition de tenir compte du critère économique, car le coût est souvent le facteur principal lors de prises de décisions. Il aurait dès lors été intéressant de considérer l'impact économique des différents scénarios. Cependant, en tenir compte engendre plusieurs incertitudes qui seront détaillées par la suite.

Comme l'intégration d'éléments de réemploi émane actuellement toujours d'une démarche volontaire, par manque d'obligation et de réglementation, le but de la démarche ici, aurait été d'évaluer si le réemploi engendre un bénéfice ou un déficit économique. Dans le cas d'un bénéfice économique, ceci permettrait de persuader et pousser davantage l'utilisation de matériaux de réemploi, dans l'hypothèse où l'impact environnemental n'aurait pas suffi à convaincre. À l'inverse, dans le cas d'un déficit, ceci permettrait de prouver la nécessité d'offrir des primes pour des projets qui mettent en œuvre des matériaux de réemploi. C'est d'ailleurs ce que préconise Rotor dans son livre *Déconstruction et réemploi* (Ghyoot et al., 2018). La Région de Bruxelles-Capitale a déjà lancé ce projet avec l'appel de chantiers circulaires, en finançant des projets vertueux où le recours au réemploi y est exprimé de manière explicite (Ghyoot et al., 2018). Offrir des primes à plus grande échelle pour les projets incluant du réemploi permettrait de le rendre plus accessible.

Concrètement, dans le but d'évaluer l'impact économique de chaque cas, il faudrait tenir compte des coûts de chaque scénario. Pour ce faire, les métrés du cas d'étude relatifs au bâtiment de bureau Retrial sont présentés au premier point des annexes. Tandis que Le deuxième et troisième point des annexes reprennent respectivement les fiches matériaux du « cas disponible » et du « cas différent » en intégrant la notion de prix. Cependant, chaque cas possède des particularités spécifiques par rapport au prix.

Effectivement, pour certains scénarios, comme le « cas existant », nous avons en notre possession des informations relatives à un prix qui englobe le prix de la main d'œuvre en plus de celui des matériaux. Pour d'autres cas, nous disposons uniquement du renseignement du prix relatif aux matériaux. Afin de comparer des éléments similaires, et comme les données concernant les prix dus à la main d'œuvre relèvent plutôt d'un impact social, il faudrait intégrer lors des calculs, un coefficient qui ne tient pas compte de la main d'œuvre.

De plus, avec certains scénarios, comme le cas d'étude, nous avons à notre disposition des informations relatives au prix, qui, lui, est lié à l'année de construction du bâtiment, à savoir 2019. Bien qu'il s'agisse d'une construction neuve et récente, force est de constater que, entre

2019 et 2023, de fortes inflations se sont fait ressentir au niveau Européen, et ce, dans tous les secteurs, dont celui de la construction, notamment avec le prix des matériaux **(Statbel, 2023)**. Nous disposons également d'informations relatives aux prix de vente de matériaux actuellement, soit dans le courant de 2023. Afin de comparer des informations similaires, en terme de prix, il faudrait tenir compte d'un coefficient représentatif de l'inflation entre 2019 et 2023 pour obtenir un résultat cohérent.

Comme nous pouvons le constater, il faudrait tenir compte de plusieurs coefficients pour envisager d'obtenir des données « réalistes ». Réalistes entre guillemet, car même si ceci nous permettrait d'avoir des données, actuellement le prix des matériaux, aussi bien neufs que ré-employés, ne fait que varier. Ceci rendrait vite nos données obsolètes et donc incertaines. L'impact du prix n'a donc pas été considéré dans le cadre de travail de fin d'étude, mais mériterait une recherche plus approfondie.

1.2) Impact social

Dans son *guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction*, la FCRBE affirme que le commerce actuel du réemploi représente un potentiel de croissance et que ce développement offre la possibilité de créer de nouveaux emplois à une échelle locale. **(Morgane Deweerdt (CSTC), 2020)**. En effet, le remploi pourrait développer un impact social assez conséquent grâce à la création d'emploi divers tels que les inventaires préliminaires à la déconstruction, le travail de démontage et de déconstruction, le transport, l'éventuelle remise en état ainsi que tout l'aspect relatif à la vente et à la gestion. Sans oublier le travail de formation en amont pour ses métiers innovants. Effectivement, dans son livre *Déconstruction et réemploi*, Rotor assure que pour le travail d'inventaire, il est crucial que celui-ci soit dressé par des experts. Il assure que le potentiel de réemploi varie de manière considérable en fonction de l'identificateur de ce potentiel **(Ghyoot et al., 2018)**. Ceci démontre tout le potentiel des métiers à pourvoir autour du réemploi, générant un impact social positif à une échelle locale.

L'impact social généré par le réemploi répond entre autres à l'objectif huit du développement durable, qui promeut une croissance économique soutenue, partagée et durable avec des emplois décents pour tous. Ainsi qu'à d'autres objectifs visant notamment des modes de consommation et de production responsables. **(Sdgs.be)**

Dans le cadre de cette recherche, basée sur la comparaison des différents scénarios découlant d'un cas d'étude, il n'était pas réalisable de tenir compte de l'impact social. Effectivement, bien qu'il soit possible de déterminer le nombre de collaborateurs au sein de Retrial, et donc d'emplois créés grâce à leur société, il n'est pas faisable de déterminer l'impact social dû à la réalisation de leur bâtiment de bureau, car nous ne disposons pas de données quantifiées de l'impact social telles que le nombre d'heures ou de personnes intervenues sur ce « cas existant ». Dans l'hypothèse où ceci serait réalisable, au travers d'enquêtes et d'estimations, pour le « cas existant », il serait encore plus difficile d'estimer l'impact social au sens large des autres scénarios afin de comparer chaque cas.

Cependant, considérer la portée du bénéfice social généré par le réemploi est primordial et mériterait une recherche plus approfondie, dans le but d'obtenir des résultats formels, afin de lever des fonds pour continuer le développement de formations et d'emplois relatifs au métier réemploi.

Ceci permettrait également de participer au plan de relance de la Wallonie dont les objectifs principaux sont d'augmenter le taux d'emploi de 5% d'ici à 2025 et réduire le taux de pauvreté ainsi que d'assurer la transition économique et industrielle de la Wallonie tout en préservant la biodiversité.**(Wallonie, 2023)**

XI. CONCLUSION

Cette étude avait pour objectif de pousser au maximum l'utilisation de matériaux de réemploi dans la construction neuve, ainsi que d'évaluer l'impact environnemental qui en découle. Le manque de connaissances et de données, tel que soulevé dans l'état de l'art, relatif à cette thématique freine l'utilisation de matériaux de réemploi dans les nouvelles constructions.

Cette recherche a pour ambition de combler une partie du manque actuel de connaissances en quantifiant le bénéfice environnemental acquis grâce à l'utilisation de matériaux de réemploi dans les constructions neuves.

Pour ce faire, il a fallu dans un premier temps sélectionner un cas d'étude et établir une méthodologie comparative. Au total, cinq scénarios sont proposés et chacun d'eux possède un taux de réemploi différent. Le cas d'étude, inclus dans les scénarios, contient un taux de réemploi en volume de 10% et correspond au scénario de référence, c'est-à-dire que son impact environnemental a été considéré à 100%. Bien que ce travail se base sur un bâtiment en particulier, la méthodologie présentée se veut générale, dans le but d'être appliquée à d'autres situations et projets de construction.

Ce mémoire a permis d'évaluer et de quantifier l'impact environnemental de chaque cas. Il en ressort qu'une construction « classique », à savoir totalement neuve, engendre une augmentation d'impact environnemental de 10% par rapport au cas d'étude. En revanche, toujours en comparaison avec le cas d'étude, considérer un cas avec des matériaux identiques mais en sélectionnant le maximum de ceux-ci sur les plateformes du réemploi en fonction des disponibilités, permet d'atteindre une diminution d'impact environnemental de 35%, pour un taux de réemploi en volume de 47%. Pour aller plus loin, le prochain cas, qui reprend toutes les caractéristiques du cas précédent, remplace certains matériaux neufs par des matériaux de réemploi du même type, toujours en fonction de la disponibilité sur les plateformes. Ce scénario obtient un score environnemental de 49%, ce qui diminue l'impact environnemental de moitié par rapport au cas d'étude, et ce, pour un taux de réemploi en volume de 57%. Enfin, le dernier cas plutôt utopique avec un taux de réemploi en volume de 100% affiche un impact environnemental de 31%, ce qui équivaut à un bénéfice environnemental de 69% par rapport au cas d'étude.

Malgré les différents freins rencontrés lors du processus, ces résultats prouvent qu'il est tout à fait possible et réalisable de pousser l'utilisation de matériaux réemployés au maximum afin d'obtenir un bénéfice environnemental réellement significatif lors de projets de construction.

Il est cependant indispensable de continuer à maintenir les efforts mis en place par les professionnels du réemploi, tout en continuant à encourager et à développer davantage ce secteur. Ceci permettrait, entre autres, de garantir un acheminement continu de matériaux de réemploi sur les plateformes de revente. Afin d'obtenir un panel plus important et diversifié d'éléments réemployés, concevoir et construire de manière réversible est indispensable. Mettre ceci en œuvre offrira la possibilité à un plus grand nombre de projets de voir leur impact environnemental baisser grâce à l'incorporation d'éléments de réemploi.

Enfin, ce travail de fin d'étude, en plus des objectifs énoncés précédemment, aspirait également à informer, sensibiliser et surtout convaincre tout un chacun et plus particulièrement les architectes, qui occupent un rôle essentiel dans la conception d'un projet, de l'importance d'inclure des éléments de réemploi et d'adopter une attitude de glanage lors de l'élaboration de projets.

Finalement, aux vues des résultats exposés, on peut conclure qu'il est primordial d'introduire des éléments de réemploi dans les nouvelles constructions pour diminuer considérablement l'impact environnemental. Il serait donc opportun d'imposer un taux minimal d'intégration de matériaux de réemploi dans de nouveaux projets.

	<p>Surcharge :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permanente : 100 kg/m² - Utile : 100 kg/m² 			
9.5.2	Garde-corps provisoire			
9.5.3	Bétonnage des joints			
9.6	Panneaux sandwichs en béton lisse	28.920,760 €	28.920,760 €	100,00%
	<p><u>Descriptif :</u></p> <p>Ce poste comprend la fourniture et la pose de panneaux sandwichs en béton armé avec finition béton lisse. Ces panneaux sont préfabriqués dans nos ateliers et il s'agit de vrais panneaux sandwichs, sans aucun pont thermique. La couche de béton extérieure est lisse (face contre coffrage) et la face intérieure est tirée à la règle, la couleur des deux est béton gris naturel. Les panneaux sont posés à l'extérieur des colonnes et sont fixés à la charpente par des fixations invisibles. Deux boudins en mastic de 13 mm de diamètre sont placés horizontalement lors du montage entre les panneaux, un sur chaque couche de béton. Les joints verticaux sont remplis de mousse polyuréthane afin d'assurer une isolation optimale. Les panneaux sont finalement rejointoyés extérieurement aussi bien verticalement qu'horizontalement avec un mastic polymère sur un vernis d'adhérence. Les ouvertures pour les menuiseries extérieures sont comprises (pour les portes piétons et les châssis, une pièce de bois 4/4 est placée dans le prolongement de l'isolant sur le pourtour de l'ouverture, cela permet d'avoir une fixation efficace de la menuiserie et surtout de ne pas avoir de coupure de l'isolation thermique). Les armatures de chaque panneau sont adaptées en fonction de sa configuration (par exemple lorsqu'il y a une différence de niveaux et donc une poussée de terre à reprendre). Les caractéristiques des panneaux sont calculées par notre bureau d'études. Les frais d'études sont compris dans le prix. Attention qu'une différence de dilatation entre les couches intérieure et extérieure peut provoquer un gauchissement de l'élément. Il y a lieu d'en tenir compte dans les parachevements intérieurs du bâtiment. Attention que les différences de température et d'humidité lors de la production de ces éléments peuvent provoquer de légères nuances de couleur et qu'un aspect nuageux à cause des huiles de décoffrage ne peut jamais être exclu.</p>			
	<p><u>Option :</u></p> <p>Possibilité de prévoir le rejointoyage intérieur horizontal entre les panneaux (et éventuellement entre les panneaux et la structure portante).</p>			
9.6.1	25 cm isolé lisse EI60			
	U = 0,2 W/m ² K PEB : ≤ 0,24 W/m ² K			
9.6.2	Continuité de l'isolation			
	<p><u>Descriptif :</u></p> <p>Les panneaux sont fabriqués de manière à assurer la continuité de l'isolation au différents raccords.</p>			
	<p><u>Concerne :</u></p> <p>Les angles verticaux du bâtiment, le raccord entre la toiture et le mur et le raccord entre le sol et le mur</p>			
9.7	Isolation et étanchéité de toiture	9.505,794 €	9.505,794 €	100,00%
9.7.1	Isolation 10 cm PIR			
	U = 0,21 (0,24) W/m ² K PEB : ≤ 0,24 W/m ² K			
	<p><u>Descriptif :</u></p> <p>L'isolation est réalisée à l'aide de panneaux en mousse de polyisocyanurate (PIR) rigide ayant une densité de 30 kg/m³ et une réaction au feu Euroclass B s1 d0 (end use steeldeck). Les panneaux seront revêtus des deux côtés d'un complexe multicouche étanche au gaz et leur coefficient de conductivité thermique est de 0,023 W/mK. Les panneaux sont posés en quinconce à joints fermés et sont fixés mécaniquement à travers</p>			

2

Conception réalisation et transformation de bâtiments industriels

Tel 071 26 81 10
Fax 071 26 81 20
Gsm : 0475 63 17 97
E-mail : masset@icm-sa.be

Z.I. Rue Saint-Donat 16 - 5640 Melleet
ING 360-0214891-42
CBC : 189-0297192-15
www.icm-sa.be

RPM Dinant
Enregistré : 12.10.11
TVA BE 0428 583 414

	dans le support en acier avec des vis zinguées (le nombre de fixations est de 4 minimum par panneau).					
	<u>Option :</u> A la place des panneaux à bords droits, il est possible d'utiliser des panneaux avec un système d'emboîtement à battée.					
9.7.2	Isolation en pente 3 → 10 cm EPS					
9.7.3	Etanchéité PVC 1,5 mm prévue pour toiture verte					
9.7.4	Relevés d'étanchéité					
9.7.5	OSB					
	<u>Descriptif :</u> Ce poste comprend la fourniture et la pose d'un panneau d'OSB posé horizontalement sur le dessus du mur en acrotère et fixé dans celui-ci. Il sert à créer un dépassant, soit vers l'intérieur en cas d'isolation verticale des relevés de toiture, soit vers l'extérieur dans le cas où un bardage doit être ensuite appliqué sur la façade.					
9.7.6	Profil de rive					
9.7.7	Solin					
	<u>Descriptif :</u> Le solin se place à la connexion de 2 toitures de niveaux différents et a les mêmes caractéristiques que celle d'un relevé avec une remontée de minimum 15 cm et une finition par un joint de silicone en partie supérieure de l'étanchéité.					
9.8	Evacuation des eaux de pluie			925,396 €	925,396 €	100,00%
9.8.1	Descente eau de pluie ø110 extérieure					
	<u>Descriptif :</u> Ce poste comprend : - Le percement du support de toiture. - La fourniture et la pose de l'avaloir de toiture. - Les tuyaux en PVC Benor posés à l'intérieur du bâtiment, de couleur grise, en diamètre 110, 160 ou 200 mm avec les différents accessoires et percements de plancher ou paroi. - Les colliers de fixation en acier galvanisé qui sont fixés aux colonnes ou aux murs intérieurs.					
	<u>Option :</u> Les tuyaux de descente en PVC peuvent être remplacés par du PEHD.					
9.8.2	Déversoir d'orage					
9.9	Tuyaux d'évacuation					
9.9.1	ø 110 (h max = 1 m)	30	m	847,170 €	847,170 €	100,00%
9.9.2	Accessoires ø 110	20	pce	629,080 €	629,080 €	100,00%
9.10	Préparation avant la dalle de sol			1.178,550 €	1.178,550 €	100,00%
9.10.1	Fondation					
9.11	Coffrage périphérique de la dalle de sol			349,913 €	349,913 €	100,00%
9.11.1	Seuil en pierre bleue					
	<u>Descriptif :</u> Sous les portes plétons (hors portes de secours en acier), fourniture et pose d'un seuil en pierre bleue de 6 cm d'épaisseur avec ravalement et pente vers l'extérieur pour éviter les rentrées d'eau.					
	<u>Option :</u>					

3

Conception réalisation et transformation de bâtiments industriels

Tél 071 26 61 10
Fax 071 26 61 20
Gsm : 0475 63 17 97
E-mail : masset@icm-sa.be

Z.I. Rue Saint-Donat 18 - 5640 Mettet
ING 360-0214591-42
CBC : 198-0297192-15
www.icm-sa.be

RPM Dinant
Enregistré : 12.10.11
TVA BE 0428 583 414

	Possibilité d'éliminer le pont thermique formé par le seuil en pierre.			
	<u>Descriptif :</u> Sous les ouvertures intérieures dans les parois préfabriquées, fourniture et pose d'un seuil en pierre bleue droit de 6 cm d'épaisseur.			
9.12	Coffrage périphérique de la dalle de l'étage	489,447 €	489,447 €	100,00%
9.12.1	Profil de finition hourdis galvanisé			
	<u>Descriptif :</u> Fourniture et pose d'un profil en galva de 3 mm servant de coffrage à la dalle en béton (ou tout autre type de revêtement) et finissant proprement le champ des hourdis autour des trémiés.			
9.13	Dalle en béton	5.303,340 €	5.303,340 €	100,00%
9.13.1	Dalle de sol en béton brute			
	<u>Descriptif :</u> Fourniture et pose de 14 cm de béton C25/30 armé d'un treillis 150/150/6 posé sur écarteurs (afin de maintenir le treillis à une hauteur précise dans la dalle de sol) sur un film plastique. La face supérieure du béton est grossièrement tirée à la règle. Ce poste comprend également le sciage des joints de retrait en panneaux d'environ 30 m².			
9.13.2	Chape de compression brute			
	<u>Descriptif :</u> Fourniture et pose de 5 cm de béton C25/30 armé d'un treillis 150/150/5 posé sur écarteurs (afin de maintenir le treillis à une hauteur précise dans la dalle de sol). La face supérieure du béton est grossièrement tirée à la règle. Ce poste comprend également le sciage des joints de retrait en panneaux d'environ 30 m².			
9.14	Menuiserie en aluminium			
9.14.1	Châssis en aluminium			
	<u>Descriptif :</u> Fourniture et pose de châssis dont les profils sont en aluminium à coupure thermique et dont le remplissage est en double vitrage. Le profil est de la marque SAPA, fait 70 mm de large, est constitué de 3 chambres et offre un coefficient d'isolation U frame = 2,3 W/m²K. Le profil possède à la base une gouttière de récupération des eaux de condensation avec évacuation vers l'extérieur et un profil rejet d'eau en aluminium à l'extérieur. Il est laqué dans une couleur RAL au choix. Le double vitrage est de la marque Saint-Gobain, offre un coefficient d'isolation U glass = 1,1 W/m²K et respecte la norme NBN S 23-002 définissant l'obligation ou non de placer des vitrages feuilletés pour des raisons de sécurité. L'interstice entre le châssis et le mur est rempli de mousse polyuréthane et le rejointoyage est prévu à l'intérieur et à l'extérieur avec un mastic spécial qui ne migre pas et qui empêche les traînées de salissure.			
	<u>Option :</u> Possibilité de :			

4

Conception réalisation et transformation de bâtiments Industriels

Tel : 071 26 81 10
Fax 071 26 51 20
Gsm : 0475 53 17 97
E-mail : masset@icm-sa.be

Z.I. Rue Saint-Donat 19 - 5640 Mettet
ING : 360-0214891-42
CBC : 198-0297792-15
www.icm-sa.be

RPM Dinant
Enregistré : 12.10.11
TVA BE 0428 583 414

- Améliorer l'isolation du profil en aluminium à U frame = 2 - 1,6 - 1,4 W/m²K.
 - Améliorer l'isolation du double vitrage à U glass = 1 W/m²K.
 - Placer une tôle pliée en alu laqué formant la tablette intérieure.

	l (m)	h (m)								
10	2	1	10	pce	14.375,000 €	14.375,000 €	100,00%			
13	3,5	1	3	pce	5.433,750 €	5.433,750 €	100,00%			
2	0,9	1	2	pce	1.345,500 €	1.345,500 €	100,00%			
2	1,5	2,1	1	pce	2.354,625 €	2.354,625 €	100,00%			
Total HTVA					643.376,25 €	642.689,16 €				
Remise commerciale 4,5 %					- 28.951,93 €	- 28.921,01 €				
Total HTVA					614.424,32 €	614.424,32 €				
Total Lot Abords après remise commerciale HTVA					279.650,62 €	279.650,62 €				
Total Général HTVA					894.074,94 €	894.074,94 €				
Compléments										
Compléments pour les pieux suite aux essais de sol					14.725,000 €	14.725,000 €	100,00%			
Ce poste comprend les 12 pieux pour lesquels un pré-forage est nécessaire Au cas où ça devrait être le cas pour d'autres pieux : 231,25 €/pce										
Renfort de toiture pour groupe de ventilation : à voir					- €	- €				
Coupoles 1,2x1,2m pour accès toiture bureaux ouverture manuelle via manivelle Ug = 1,3 W/m².K ; Utot = 0,93 W/m².K					2.400,000 €	2.400,000 €	100,00%			
Une rangée de 4 hublots dans les 2 portes sectionnelles					256,000 €	256,000 €	100,00%			
Emetteur + récepteur + 1 télécommande supplémentaire sur les 2 portes sectionnelles					368,000 €	368,000 €	100,00%			
Plus-value pour descente d'eau de pluie en zinc pour les bureaux					298,000 €	298,000 €	100,00%			
Adaptation égouttage intérieur										
Eau de pluie										
ø 110 (h max = 1 m)					13	m	367,120 €	367,120 €	100,00%	
Accessoires ø 110					5	pce	157,250 €	157,250 €	100,00%	
6.2.1	ø 160 (h max = 1 m)					-30	m	937,200 €	937,200 €	100,00%
6.2.2	Accessoires ø 160					5	pce	165,700 €	165,700 €	100,00%
6.2.3	ø 200 (h max = 1 m)					8	m	282,080 €	282,080 €	100,00%
6.2.4	Accessoires ø 200					-1	pce	34,830 €	34,830 €	100,00%
6.2.5	ø 250 (h max = 1,5 m)					1	m	52,730 €	52,730 €	100,00%
6.2.6	Accessoires ø 250					-2	pce	119,060 €	119,060 €	100,00%
6.2.5	ø 315 (h max = 1,5 m)					2	m	146,120 €	146,120 €	100,00%
6.2.6	Accessoires ø 315					2	pce	165,080 €	165,080 €	100,00%
Réseau incendie										
6.4.2	PE 63 mm (h max = 0,6 m)					-31	m	811,890 €	811,890 €	100,00%
6.4.3	Remontée galva 63 mm					-1	pce	136,270 €	136,270 €	100,00%
6.4.4	Dévidoir incendie					-2	pce	1.046,160 €	1.046,160 €	100,00%
Eau usée										
9.9.1	ø 110 (h max = 1 m)					20	m	564,800 €	564,800 €	100,00%
9.9.2	Accessoires ø 110					1	pce	31,450 €	31,450 €	100,00%
Eau de ville										
PE 32 mm EDV (remontée comprise)					4	m	89,600 €	89,600 €	100,00%	
Moins valeur pour changement de granulates sur les panneaux de façade					-		4.790,500 €	4.790,500 €	100,00%	
Moins valeur pour finition de la coupole des bureaux					-		200,000 €	200,000 €	100,00%	
Toiture végétalisée sur les bureaux suivant mail du 21/08/2019					10.717,330 €	10.717,330 €	100,00%			

porte ext.

5

Conception réalisation et transformation de bâtiments industriels

Tel: 071 26 01 10
 Fax: 071 26 51 20
 Gsm: 0475 63 17 97
 E-mail: masset@icm-sa.be

Z:1 Rue Saint-Donat 18 - 5940 Mettet
 ING: 360-021491-42
 CBC: 198-0297792-15
 www.icm-sa.be

RPM Dinant
 Enregistré: 12.10.11
 TVA BE 0428 593 414



Ingénierie & Construction Masset

6 bornes en acier galvanisé diamètre 200mm ; hauteur hors sol 1000mm	1.412.000 €	- €	100,00%
Total avec compléments HTVA	918.197,29 €	916.785,29 €	
Etat d'avancement n°1 du 13/05/2019	105.000,00 €	105.000,00 €	
Etat d'avancement n°2 du 19/06/2019	350.000,00 €	350.000,00 €	
Etat d'avancement n°3 du 26/08/2019	200.000,00 €	200.000,00 €	
Etat d'avancement n°4 du 21/11/2019	263.197,29 €	261.785,29 €	
Options : voir document annexe pour options abords	- €	- €	
Validité du devis : Un mois après la date d'émission de celui-ci.			
Conditions de paiement : - Acompte de 2,5% à la signature du contrat. - Acompte de 2,5% après la réception des plans d'exécution. - Solde : suivant états d'avancement mensuels. - Les acomptes sont déduits au pro-rata sur les factures des états d'avancement. - Les factures sont payables au comptant dans les 15 jours.			
Indexation : $p = P \times (0,4 \times i/I + 0,4 \times s/S + 0,2)$ Où : - p : prix à la livraison. - P : prix du devis. - s : indice santé pour la construction au moment de la livraison. - S : indice santé pour la construction au moment du devis. - i : index à la consommation des matériaux de construction au moment de la livraison. - I : index à la consommation des matériaux de construction au moment du devis.			

⚠ Prix pour bureaux + hall indust

6

Conception réalisation et transformation de bâtiments industriels

Tel: 071 26 61 10
Fax 071 26 61 20
Gsm : 0475 63 11 07
E-mail : masset@icm-sa.be

Z.I. Rue Saint-Donat 18 - 5640 Mettet
ING 365-0214891-42
CIBC 188-0207702-15
www.icm-sa.be

RPM Dinant
Enregistré: 12.10.11
TVA BE 0428 593 414

2) FICHE MATÉRIAUX RETRIVAL « CAS DISPONIBLE »

2.1) Fiche matériaux : Panneaux sandwich préfabriqué



Élément	Panneaux sandwich préfabriqués Gros œuvre
Matériau	Béton armé, isolant polyuréthane, béton armé
Dimensions	Extérieur -> Intérieur 5cm béton / 10 cm isolant / 10 cm béton
Plateforme	Opalis
Revendeur	Marktplaats
Site	https://www.marktplaats.nl/u/gerko-van-mouik/1109683/
Date	25 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	En suffisance. Répond au m ² recherché pour le projet à savoir 330m ²
Prix	25€/m ² pour une épaisseur de 25 cm
Prix total	8250 € HTVA et sans transport
Identique à l'existant	Épaisseur identique

2.2.1) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 1 Ref : 6745
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 116 cm Hauteur : 178 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplacer_adplacer%5Badvertentie%5D=6745&tx_adplacer_adplacer%5Baction%5D=show&tx_adplacer_adplacer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=27e4818f3d19651116b440153d27ca2a
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	4 pièces
Prix	350 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.2) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 1 Ref : 6744
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 116 cm Hauteur : 148 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplacervadvertiser%5Badvertentie%5D=6744&tx_adplacervaction%5D=show&tx_adplacervcontroller%5D=Advertiser&chash=9c66a5a13119c6563bd107111fad8397
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	4 pièces
Prix	300 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.3) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 1 Ref : 4081
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 236 cm Hauteur : 98 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplacer_adplacer%5Badvertentie%5D=4081&tx_adplacer_adplacer%5Baction%5D=show&tx_adplacer_adplacer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=f82ff9be27dedd718c15c3c7cd13b3f2
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	250 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.4) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 2 Ref : 6672
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 254 cm Hauteur : 161 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=6672&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=db0d5a0f6b51f9907f2871449af23fab
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	400 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.5) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 2 Ref : 6671
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 265 cm Hauteur : 163 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplacer%5Badvertentie%5D=6671&tx_adplaccer_adplacer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplacer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=27761a2abc46f51c6a13972a7250ad77
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	400 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.6) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 3 Ref : 6277
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitre : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 62 cm Hauteur : 60 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/
Date	25 juillet 2022
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	150 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	<ul style="list-style-type: none">- Matériaux : oui- Vitrage : Double vitrage valeur U respectée- Dimension légèrement différente mais proche de l'existant

2.2.7) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 3 Ref : 6778
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 94 cm Hauteur : 110 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=6778&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=7c7145244e9f6a76bbddab32b0bbd4b7
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	225 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.8) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 3 Ref : 4175
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 90 cm Hauteur : 128 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=4175&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=c9e3f9d0bcfdabed29fe93c9a2500846
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	175 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.9) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 3 Ref : 4174
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 92 cm Hauteur : 127 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=4174&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=dfafde5f7e420802a894cbd0edb531be
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	175 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.10) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 3 Ref : 2159
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 121 cm Hauteur : 141 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=2159&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=e6ae149fb2e26f2a80fbef343addeb4c
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	3 pièces
Prix	250 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.11) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 4 Ref : 6746
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitres : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 230 cm Hauteur : 149 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/?tx_adplaccer_adplaccer%5Badvertentie%5D=6746&tx_adplaccer_adplaccer%5Baction%5D=show&tx_adplaccer_adplaccer%5Bcontroller%5D=Advertentie&cHash=42efeb8f02a2aa6e730223f405751f81
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	2 pièces
Prix	450 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.2.12) Fiche matériaux de réemploi : Fenêtre



Élément	Fenêtre type modèle 5 Ref : 5452
Matériaux	Châssis : Aluminium Vitre : Double vitrage
Dimensions	Largeur : 255 cm Hauteur : 161 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/ramen/
Date	25 juillet 2022
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	350 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	<ul style="list-style-type: none">- Matériaux : oui- Vitrage : Double vitrage valeur U respectée- Dimension légèrement différente mais proche de l'existant

2.3) Fiche matériaux de réemploi :



Élément	Porte d'entrée Ref : 4984
Matériaux	Aluminium
Dimensions	Largeur : 101 cm Hauteur : 250 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehandsbouwmarkt
Site	https://www.2dehandsbouwmarkt.be/buiten-deuren/?tx_adplacerv_adplacerv%5Badvertentiev%5D=4984&tx_adplacerv_adplacerv%5Baction%5D=show&tx_adplacerv_adplacerv%5Bcontrollev%5D=Advertentiev&cHash=1a1b1d32ec12d26cb7b96b34b06dd12b
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	1 pièce
Prix	450 €/pièce
Prix total	450 €
Identique à l'existant	Matériaux : oui Dimensions : non Couleur : non

2.4.1) Fiche matériaux de réemploi : Isolant toiture PIR



Élément	Panneaux isolants 1 Pour toiture plate
Matériaux	Plaques PIR avec laminage 2 faces en voile de verre minéral
Dimensions	Longueur : 120 cm Largeur : 60 cm Épaisseur : 7 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	53 m ²
Prix	13 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.2) Fiche matériaux de réemploi : Isolant PIR



Élément	Panneaux isolants 2
Matériaux	Plaques PIR avec laminage aluminium 2 faces
Dimensions	Longueur : 170 ou 215 cm Largeur : 120 cm Épaisseur : 4 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas, proche de la Belgique
Stock	8,15 m ² (longueur 170 cm) 18,4 m ² (longueur 215 cm)
Prix	8 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.3) Fiche matériaux de réemploi : Isolant PIR



Élément	Panneaux isolants 3
Matériaux	Plaques PIR avec laminage aluminium 2 faces
Dimensions	Longueur : 200 cm Largeur : 100 ou 120 cm Épaisseur : 5 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	22 m ² (largeur 100 cm) 38,4 m ² (largeur 120 cm)
Prix	10 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.4) Fiche matériaux de réemploi : Isolant PIR



Élément	Panneaux isolants 4
Matériaux	Plaques PIR avec laminage aluminium 2 faces
Dimensions	Longueur : 200 cm Largeur : 118 cm Épaisseur : 4 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	11,8 m ²
Prix	8 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.5) Fiche matériaux de réemploi : Isolant PIR



Élément	Panneaux isolants 5
Matériaux	Plaques PIR avec laminage 2 faces en voile de verre bitumineux
Dimensions	Longueur : 120 cm Largeur : 100 cm Épaisseur : 8 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	22,8 m ²
Prix	15 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.6) Fiche matériaux de réemploi : Isolant PIR



Élément	Panneaux isolants 6
Matériaux	Plaques PIR
Dimensions	Longueur : 120 cm Largeur : 60 cm Épaisseur : 3 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	2dehands bouwmaterialen
Site	https://www.2dehandsbouwmaterialen.nl/product/partij-pir-120x60x3cm-dik/
Date	23 février 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	50 pièces
Prix	5 €/pièce 200 € le lot entier
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.7) Fiche matériaux de réemploi : Isolant



Élément	Panneaux isolants 7
Matériaux	Plaques en polystyrène avec une face en bitume
Dimensions	Longueur : 120 cm Largeur : 100 cm Épaisseur : 9 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruikte Bouwmaterialen Weert
Site	https://gebruiktebouwmaterialenweert.nl/product/tempex-9-cm/
Date	23 février 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	40,8 m ²
Prix	8 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.8) Fiche matériaux de réemploi : Isolant toiture EPS



Élément	Panneaux isolants 8 Ref : 35
Matériaux	Plaques EPS
Dimensions	Longueur : 300 cm Largeur : 120 cm Épaisseur : 20 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruiktes loop materialen
Site	https://gebruiktesloopmaterialen.nl/materiaal-categorie/isolatie/#
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	30 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

2.4.9) Fiche matériaux de réemploi : Isolant EPS



Élément	Panneaux isolants 9 Ref : 32
Matériaux	Plaques EPS avec matériau de couverture d'un côté
Dimensions	Longueur : 120 cm Largeur : 100 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Gebruiktes loop materialen
Site	https://gebruiktesloopmaterialen.nl/materiaal-categorie/isolatie/#
Date	28 juillet 2022
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	4 €/pièce de 7-8 cm d'épaisseur 4,5 €/pièce de 8-9 cm d'épaisseur 5 €/pièce de 10-11 cm d'épaisseur 6 €/pièce de 11-12 cm d'épaisseur 7 €/pièce de 13-14 cm d'épaisseur
Prix total	
Identique à l'existant	

2.5.1) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de toiture.

Cet élément n'a pas été intégré au projet, car n'était pas repris dans les plans ni dans Totem, mais est présent dans la réalité construite.



Élément	Gravillons de toiture
Matériaux	Gravillons
Dimensions	3 m ³
Plateforme	Opalis
Revendeur	BOMA – Les bonnes matières
Site	https://boma.alsace/materiaux-2/ https://drive.google.com/file/d/1aY-Vswzl4vzPuEzft0JFNsz51HHMNWFMT/view?fbclid=IwAR3UPRGNuL_R_GscPcQ3sqbMxaBYhH-q6jm4ol1E2nEUNj9_2Zlqe0DUyd10
Date	23 février 2023
Lieu	France - Strasbourg
Stock	3 m ³
Prix	25 €/m ³
Prix total	
Identique à l'existant	

2.5.2) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de toiture.

Cet élément n'a pas été intégré au projet, car n'était pas repris dans les plans ni dans Totem, mais est présent dans la réalité construite.



Élément	Dalles de toiture
Matériaux	Dalles gravillonnées
Dimensions	/
Plateforme	Opalis
Revendeur	BOMA – Les bonnes matières
Site	https://boma.alsace/materiaux-2/ https://drive.google.com/file/d/1aY-VswzI4vzPuEzft0JFNsz51HHMNWFMt/view?fbclid=IwAR3UPRGNuLR_GscPcQ3sqbMxaBYhH-q6jm4oI1E2nEUNj9_2Zlqe0DUyd10
Date	23 février 2023
Lieu	France - Strasbourg
Stock	46 m ³
Prix	5 €/m ³
Prix total	
Identique à l'existant	

3) MATÉRIAUX RETRIVAL « CAS DIFFÉRENT »

3.1.1) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



Élément	Dalle de sol Sassollo
Matériaux	Carreaux de ciment en terrazzo
Dimensions	Longueur : 30 cm Largeur : 30 cm Épaisseur : 2,8 cm
Plateforme	RotorDC
Revendeur	RotorDC
Site	https://rotordc.com/shop/product/205flo00104-terrazzo-sassello-floor-tiles-30-x-30-cm-sold-per-m2-60373?category=160
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	137 m ²
Prix	44 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.2) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



Élément	Dalle de sol Ururi
Matériaux	Carreaux de ciment en terrazzo
Dimensions	Longueur : 30 cm Largeur : 30 cm Épaisseur : 2,8 cm
Plateforme	RotorDC
Revendeur	RotorDC
Site	https://rotordc.com/shop/category/floors-cement-tile-floors-160?category=160&search=ururi
Date	17 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	133,91 m ²
Prix	44 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.3) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



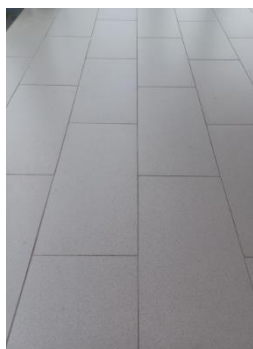
Élément	Dalle de sol Royal Mosa
Matériaux	Carreaux de céramique gris
Dimensions	Longueur : 15 cm Largeur : 15 cm Épaisseur : 1 cm
Plateforme	RotorDC
Revendeur	RotorDC
Site	https://rotordc.com/shop/product/999flo169-grey-ceramic-tiles-by-royal-mosa-150-x-150-mm-60249?category=34
Date	20 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	107,94 m ²
Prix	49 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.4) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



Élément	Dalle de sol
Matériaux	Granit
Dimensions	Longueur : 99,5 à 100 cm Largeur : 70 cm Épaisseur : 3 cm
Plateforme	RotorDC
Revendeur	RotorDC
Site	https://rotordc.com/shop/product/999cla020-batch-of-granite-tiles-10-5-m2-59919?page=4&category=34
Date	20 mai 2023
Lieu	Belgique – Bruxelles
Stock	10,5 m ²
Prix	399 € le lot entier
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.5) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



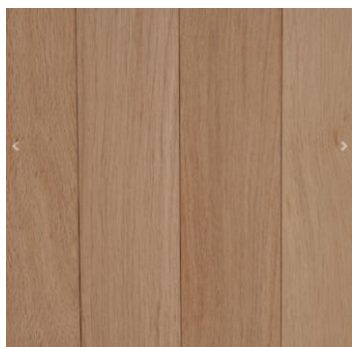
Élément	Carrelage
Matériaux	Céramique gris/beige
Dimensions	Longueur : 60 cm Largeur : 30 cm
Plateforme	Cornermat
Revendeur	Cornermat
Site	https://www.cornermat.be/shop/carrelage-ceramique-gris-beige-neuf-554#attr=
Date	20 mai 2023
Lieu	Allemagne
Stock	43 pièces
Prix	0,30 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.6) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



Élément	Carrelage Remigres Porcelanato
Matériaux	Anthracite gris lisse
Dimensions	Longueur : 60 cm Largeur : 60 cm
Plateforme	Cornermat
Revendeur	Cornermat
Site	https://www.cornermat.be/shop/carrelage-gris-60x60-425?category=3#attr=
Date	20 mai 2023
Lieu	Belgique - Marcinelle
Stock	50 pièces
Prix	7 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.7) Fiche matériaux de réemploi : Revêtement de sol



Élément	Parquet à rainures et languettes
Matériaux	Chêne
Dimensions	Longueur : variable Largeur : 8 cm Épaisseur : 2,1 cm
Plateforme	RotorDC
Revendeur	RotorDC
Site	https://rotordc.com/shop/product/980flo006-parquet-in-rustic-oak-wood-from-sonian-forest-w-8-cm-60134?category=201
Date	20 mai 2023
Lieu	Belgique - Bruxelles
Stock	50,54 m ²
Prix	87 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

3.1.8) Fiche matériaux de réemploi : Plancher



Élément	Plancher
Matériaux	Vinyle
Dimensions	/
Plateforme	Cornermat
Revendeur	Cornermat (Retrival Scrl FS)
Site	https://www.cornermat.be/shop/plancher-vinyle-475?category=3#attr=
Date	23 février 2023
Lieu	Belgique - Charleroi
Stock	12 m ²
Prix	8 €/m ²
Prix total	
Identique à l'existant	

3.2) Fiche matériaux de réemploi : Escalier



Élément	Escalier de 14 marches
Matériaux	Bois
Dimensions	Longueur : 340 cm Largeur : 90 cm Hauteur : 245 cm
Plateforme	Cornermat
Revendeur	Cornermat (Retrival Scrl FS)
Site	https://www.cornermat.be/shop/escalier-en-bois-528?category=39#attr=
Date	23 février 2023
Lieu	Belgique - Charleroi
Stock	1 pièce
Prix	500 €/pièce
Prix total	
Identique à l'existant	

3.3.1) Fiche matériaux de réemploi : Structure

Cet élément n'a pas été intégré au scénario, car les informations n'étaient pas assez complètes. Il figure cependant dans les annexes, pour illustrer les quelques éléments de structures disponibles sur les plateformes.



Élément	Structure
Matériaux	Acier
Dimensions	Ce point suscite des questions, car les informations n'étaient pas claires : Longueur : 30 m Largeur : 16 m Hauteur de gouttière : 4,6 m Inclinaison du toit : 20° Profil: montants IPE 240, fermes IPE 220, fermes IPE 140
Plateforme	Opalis
Revendeur	HO-Berg
Site	https://www.gebruiktestaalconstructies.nl/staalconstructies/gebruikte-staalconstructies/15-00-x-30-00m-450m2
Date	18 mai 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	Sur demande
Prix total	
Identique à l'existant	

3.3.2) Fiche matériaux de réemploi : Structure

Cet élément n'a pas été intégré au scénario, car les informations n'étaient pas assez complètes. Il figure cependant dans les annexes, pour illustrer les quelques éléments de structures disponibles sur les plateformes.



Élément	Structure
Matériaux	Acier
Dimensions	Ce point suscite des questions, car les informations n'étaient pas claires : Longueur : 16 m (possible en plus long) Largeur : 10 m Hauteur de gouttière : 3 ou 4 m Inclinaison du toit : 15° Profil: montants IPE 160, fermes IPE 160
Plateforme	Opalis
Revendeur	HO-Berg
Site	https://www.gebruiktestaalconstructies.nl/staalconstructies/gebruikte-staalconstructies/10-00-x-16-00m-160m2
Date	18 mai 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	Sur demande
Prix total	
Identique à l'existant	

3.3.3) Fiche matériaux de réemploi : Structure

Cet élément n'a pas été intégré au scénario, car les informations n'étaient pas assez complètes. Il figure cependant dans les annexes, pour illustrer les quelques éléments de structures disponibles sur les plateformes.



Élément	Poutres
Matériaux	Chêne
Dimensions	Longueur : Jusque 5 m Section : Variable
Plateforme	Opalis
Revendeur	Vieille France
Site	https://www.vieillefrance.nl/bouwmaterialen/oude-eiken-balken.html
Date	18 mai 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	1250 €/m ³ 28 €/m la poutre de 15x15 cm 50 €/m la poutre de 20x20 cm
Prix total	
Identique à l'existant	

3.3.4) Fiche matériaux de réemploi : Structure

Cet élément n'a pas été intégré au scénario, car les informations n'étaient pas assez complètes. Il figure cependant dans les annexes, pour illustrer les quelques éléments de structures disponibles sur les plateformes.



Élément	Poutres (anciennes fermes)
Matériaux	Epicéa
Dimensions	Longueur : Variables Section : 9 x 40 cm
Plateforme	Opalis
Revendeur	Hameren
Site	https://www.vanhamerenhouthandel.nl/Oude-vuren-spanten-90x400-MM-gebruikt-diverse-lengtes
Date	18 mai 2023
Lieu	Pays-Bas
Stock	/
Prix	20 €/m
Prix total	
Identique à l'existant	

4) DURÉE DE VIE DANS TOTEM

Les données présentées ici sont issues des publications présentes dans Totem (**TOTEM, 15/10/2020**).

Tableau 1 : Vue d'ensemble des durées de vie prise en compte pour les différentes catégories d'éléments au sein de TOTEM.

Élément de construction	TOTEM
Dalle su sol	120
Fondation ²	120
Mur du cave	120
Mur extérieur / murs rideaux	120
Mur intérieur porteur	120
Mur intérieur non porteur / structure massive	120
Mur intérieur non porteur / structure légère	30
Plancher	120
Balcon ²	120
Balustrade ²	120
Escalier / rampe ²	120
Toiture (plate / en pente)	120
Élément de structure (poutres / colonnes / linteaux)	120
Ouverture extérieure (portes/fenêtres/protection solaire ²)	30
Ouverture intérieure (portes/fenêtres)	120
Seuil / appui de fenêtre	120
Installations ²	20
Installations de transport ²	20
Aménagement extérieur	120

Tableau 2 : Aperçu des durées de vie prises en compte pour les composants dans TOTEM.

Partie du bâtiment	type	composition	TOTEM
Structure			
	massif		≥60
	ossature		
		ossature béton	≥60
		ossature bois	≥60
		FJI	≥60
		CLT	≥60
Fondations		ossature acier	≥60
	chape d'étanchéité		
		graviers	≥60
		sable	≥60

	sable stabilisé	≥60
	béton coulé	≥60
	béton cellulaire	≥60
	ciment à base de trass	≥60
	grains d'argile expansée	≥60
	film PE	≥60
	géotextile	≥60
	plancher sur terre-plein	
	béton coulé	≥60
	béton de fibres d'acier	≥60
	poutre de fondation	
	béton	≥60
	maçonnerie montante	
	blocs en béton	≥60
	briques	≥60
	fondations sur pieux	
	béton	≥60
	bois	≥60
	acier	≥60
Façades		
	mur extérieur	
	structure portante	
	briques	≥60
	briques silico-calcaires	≥60
	parpaings de béton	≥60
	préfabriqué béton	≥60
	béton in situ	≥60
	Pierre naturelle	≥60
	béton cellulaire	≥60
	OSB	≥60
	panneau aggloméré	≥60
	plaque de multiplex	≥60
	plaque de fibres de bois	≥60
	plaque d'acier	≥60
	panneaux en sandwich	≥60
	finition façade	
	brique de façade	≥60
	parpaings en béton de façade	≥60
	briques de façade silico-calcaires	≥60
	plaquettes	≥60
	plaque de pierre naturelle	≥60
	dalles en pierre naturelle	≥60
	dalles en céramique	≥60
	plaque de béton	≥60
	panneau en sandwich	≥60
	plaque de fibre-ciment	40
	revêtement métallique : acier galvanisé et/ou revêtu	30
	revêtement métallique : acier, chrome	≥60
	revêtement	40

	métallique aluminium peint ou anodisé	
	revêtement métallique : aluminium émaillé	≥ 60
	revêtement métallique : Zinc	≥ 60
	revêtement métallique Cuivre	≥ 60
	revêtement synthétique	30
	revêtement tuiles et ardoises	≥60
	bois (traité)	30
	bois (non traité)	20
	enduit	40
	enduit sur isolation	40
	peinture	10
	façade-rideau	≥60
	verre et panneau de remplissage	30
	isolation de façade	
	dans vide ou entre ossature	
	laine de roche	≥60
	laine de verre	≥60
	EPS	≥60
	XPS	≥60
	cellulose	≥60
	verre cellulaire	≥60
	liège	≥60
	plaque de fibres de bois	≥60
	plaque PUR	≥60
	mousse PUR	≥60
	mousse résolique	≥60
	pure laine	≥60
	chanvre	≥60
	paille	≥60
	Isolation extérieure + enduit	
	laine de roche	40
	EPS	40
	XPS	40
	PUR	40
	verre cellulaire	40
	liège	40
	plaque de fibres de bois	40
	membrane	
	pare-vapeur PE	≥60
	pare-pluie PE	≥60
	couche d'étanchéité	≥60
	couche de drainage	≥60
Menuiseries extérieures	protection solaire	
	protection solaire métallique	30
	protection solaire en tissu	30
	volet déroulant	30
	protection solaire en verre	30

fenêtres		
	bois (non traité)	30
	bois (traité)	40
	bois tropical	40
	bois-métal	40
	PVC	40
	aluminium	60
portes		
	portes extérieures	30
vitrage		
	double vitrage	30
	triple vitrage	30
porte de garage		
	aluminium	30
appui de fenêtre		
	pierre naturelle	≥60
	aluminium	30
	MDF+peinture	30
linteaux		≥60
Murs intérieurs		
non porteurs		
	béton cellulaire	≥60
	plâtre	≥60
	briques silico-calcaires	≥60
	ossature bois	≥60
	ossature acier	≥60
	briques	≥60
	parpaings de béton	≥60
porteurs		
	briques	≥60
	briques silico-calcaires	≥60
	béton cellulaire	≥60
	béton coulé	≥60
	préfabriqué béton	≥60
	parpaings de béton	≥60
	bois laminé	≥60
	ossature bois	≥60
	ossature acier	≥60
	OSB	≥60
	panneau aggloméré	≥60
	multiplex	≥60
murs constitués d'éléments		
	parois légères déplaçables	30
 finition paroi intérieure		
	plafonnage	40
	plafonnage sur plaque	30
	peinture	10
	papier peint	10

		carrelages muraux	40
		carrelages muraux sur plaque	30
		lattes en bois	30
		plaques	30
		blocs de plâtre	≥60
Menuiseries intérieures	chambranles de portes	MDF	30
		bois	50
	portes	bois massif	50
		MDF	30
		verre	50
Planchers	plancher rez-de-chaussée		
		béton	≥60
	isolation du plancher	laine de roche	≥60
		laine de verre	≥60
		EPS	≥60
		XPS	≥60
		résol	≥60
		mousse PUR	≥60
		panneaux PUR	≥60
		flocons de cellulose	≥60
		plaques de liège	≥60
		plaque de fibres de bois	≥60
		couverture pure laine	≥60
		chanvre	≥60
		verre cellulaire	≥60
		PE	≥60
	graviers	≥60	
	planchers des étages	béton	≥60
		béton-acier	≥60
		béton-briques	≥60
		béton-EPS	≥60
		béton-fibres de bois	≥60
		hourdis	≥60
		béton cellulaire	≥60
		bois	≥60
		FJI	≥60
		CLT	≥60
		acier	≥60
		OSB	≥60
		panneau aggloméré	≥60
		multiplex	≥60
	finition de sol		
	chape		
sable-ciment		≥60	

	PUR	≥60	
	verre cellulaire	≥60	
	cellulose	≥60	
	pure laine	≥60	
	fibre de bois	≥60	
	chanvre	≥60	
	liège	≥60	
pare-vapeur			
	film PE	≥60	
	bitumes	≥60	
couverture de toit			
	bitumes : couche inférieure	60	
	bitumes : couche supérieure	30	
	epdm	30	
	PVC	30	
	résine PUR	30	
	résine polyester	30	
couche de ballast			
	graviers	≥60	
	couche de séparation	30	
	dalles en béton	30	
	dalles en céramique	30	
	gravillon	30	
	toit vert	30	
bord de toit			
	aluminium	30	
finition intérieure			
Toit en pente	plaques sur gîtage en bois ou métallique	30	
	peinture	10	
	papier peint	10	
	construction		
	bois	≥60	
	FJI	≥60	
	CLT	≥60	
	acier	≥60	
	OSB	≥60	
	panneau aggloméré	≥60	
	multiplex	≥60	
	isolation du toit		
	laine de roche	≥60	
	laine de verre	≥60	
	EPS	≥60	
	XPS	≥60	
	mousse PUR	≥60	
panneaux PUR	≥60		
cellulose	≥60		
verre cellulaire	≥60		
fibre de bois	≥60		
couverture pure laine	≥60		

	chanvre	≥60
	panneaux en sandwich	≥60
pare-vapeur		
	film PE	≥60
	film PP	≥60
	film bitumineux	≥60
retenue d'eau		
	sous-toiture pour tuiles et ardoises	≥60
	sous-toiture pour autres revêtements de toit	30
bardeau		
	plaques	30
couverture de toit		
	tuile béton	≥60
	tuile céramique	≥60
	fibre-ciment	30
	revêtement métallique : acier galvanisé et/ou revêtu	30
	revêtement métallique : acier, chrome	≥60
	revêtement métallique aluminium peint ou anodisé	40
	revêtement métallique : aluminium émaillé	≥ 60
	revêtement métallique : Zinc	≥ 60
	revêtement métallique Cuivre	≥ 60
	bardeaux de bitume	15
	bardeaux EPDM	15
	ardoises naturelles	≥60
	couverture de toit en bois	30
Circulation²		
Escaliers		
	Escalier intérieur	
	bois	≥60
	béton	≥60
	acier	≥60
	escalier extérieur	
	acier	≥60
	 finition	
	marches en bois ouvertes	≥60
	marches en verre ouvertes	≥60
	marches en acier ouvertes	≥60
	carrelages	≥60
	bois	≥60
	tapis	15
	peinture	10
	plâtre	40
	rampes d'escalier	
	bois	≥60
	acier	≥60
	béton	≥60
	aluminium	≥60

	aluminium + verre	≥60
	verre	≥60
balustrade de balcon et de galerie		
	béton	≥60
	acier	≥60
	bois	30
	aluminium	≥60
	aluminium + verre	≥60
structure portante balcon		
	béton	≥60
	acier	≥60
	bois	≥60
finition balcon		
	chape	≥60
	étanchéité bitume	30
	couche de séparation	30
	plancher à claire-voie en acier	≥60
	dalles en céramique	30
	dalles en béton	30
	planches en bois	20
	coating	15
	peinture	10
Ascenseurs	Ascenseur	20
Installations²		
Chauffage	production de chaleur	
	chaudière en acier (mazout, gaz)	20
	poêle à pellets	15
	pompe à chaleur	15
	cogénération	20
	distribution de chaleur	
	conduites acier	30
	conduites cuivre	40
	conduites PPR	25
	conduites PE	25
	isolation conduites	40
	dégagement de chaleur	
	radiateur	20
	convecteur	20
	thermostat	15
Evacuation	gouttières	
	préfabriqué, zinc	30
	conduites	50
	stockage d'eau de pluie	≥60
Eau	préparation d'eau chaude	20

	réservoir d'eau chaude		20
	chauffe-eau solaire		30
	capteur solaire		20
	vase d'expansion		20
	pompe		
		pompe de circulation	20
	isolation conduites		40
	hydrocollecteur		20
Gaz	conduites d'arrivée		
		acier	30
		PLT	30
		PE	30
Mazout		cuivre	40
	conduites d'évacuation		30
	conduites		30
	stockage		30
			1
Ventilation	système		15
	filtre		
	distribution		25
Installation PV			
	convertisseur		15
	inverseur		15
	fixation		≥60
	panneau		30
Aménagements extérieurs			
Revêtement extérieur	fondation		
		géotextile	≥60
		pierres concassées	≥60
		béton concassé	≥60
		porphyre broyé	≥60
		dolomie broyée	≥60
		roche calcaire broyée	≥60
		sable stabilisé	≥60
		béton rugueux	≥60
		graviers	≥60
		sable	≥60
		mortier de ciment	≥60
	revêtement extérieur		
		béton	30
		dalles en céramique	20
		clinker en argile	30
		dalles en béton	30
		clinker en béton	30
		graviers	≥60
		bois	20

5) LISTE DES TABLEAUX, FIGURES ET SOURCES :

Tableaux

Tableau 1 : explications des indicateurs sélectionnés dans totem avec les informations du guide totem.....	72
Tableau 2 : Résultats d'impacts environnementaux via Totem	90
Tableau 3 : résultats d'impacts environnementaux en pourcentage relatif.....	91
Tableau 4 : proportions entre les composants	93

Figures

Figure 1 : Economie Linéaire	8
Figure 2 : Extraction des ressources mondiales en tonnes de 1970 à 2019.	8
Figure 3 : Consommation annuelle des Belges.	9
Figure 4 : Production des déchets par secteur en Belgique (2004-2018, en tonnes)	10
Figure 5 : Illustration de l'économie circulaire	10
Figure 6 : L'économie circulaire dans tous les secteurs	11
Figure 7: Assemblage réversible.....	13
Figure 8 : Assemblage réversible.....	14
Figure 9 : Echelle de Lansink – Hiérarchisation des modes et traitements des déchets	15
Figure 10 : Barrières et freins du réemploi	17
Figure 11 : Phase du cycle de vie dans Totem et limites du système selon la norme Européenne	25
Figure 12 : Panel des indicateurs d'impact environnementaux.....	26
Figure 13 : Les trois applications du réemploi.....	27
Figure 14 : Tableau des éléments prioritaires pour les éléments de réemploi.....	45
Figure 15 : Démarche favorable à la conception circulaire.....	46
Figure 16 : Façade avant des bureaux Retrial et hall industriel	50
Figure 17 : Plan et Coupe des bâtiments de bureaux et du hall industriel	50
Figure 18: Plan rez et rez+1	51
Figure 19 : Plan de structure du Rez-de-chaussée	52
Figure 20 : Plan de structure du Rez+1 et coupes du bâtiment	53
Figure 21 : Présentation des cinq scénarios.....	62
Figure 22 : Durée de vie d'un isolant (A même performance d'isolation, épaisseur variable en fonction de lambda).....	67
Figure 23 : Elévation du bâtiment et mise en évidence des modèles de fenêtres	68
Figure 24 : Tableau des valeurs lambdas à considérer dans les calculs.	69
Figure 25: Proportions du volume de matériaux utilisés dans le cas d'étude	73
Figure 26 : Pourcentage en volume de matériaux neufs et réemployés des différents scénarios	74
Figure 27 : Proportions de la masse de matériaux utilisés dans le cas d'étude.....	75
Figure 28 : Pourcentage de masse de matériaux neufs et réemployés des différents scénarios.....	75
Figure 29 : Présentation des cinq scénarios.....	76
Figure 30 : Pourcentage de volume de matériaux neufs et réemployés des différents scénarios	86
Figure 31 : Pourcentage du volume de matières neuves ou réemployées.....	87
Figure 32 : Pourcentage de masse de matériaux neufs et réemployés des différents scénarios.....	88
Figure 33 : Pourcentage de masse de matières neuves ou réemployées.....	89
Figure 34 : Graphique des résultats d'impacts environnementaux en pourcentage relatif	91
Figure 35 : Résultats d'impacts environnementaux via Totem.....	92
Figure 36 : Graphique des proportions entre les composants.....	94
Figure 37 : Pourcentage du taux de réemploi en volume au sein de chaque indicateur.....	96
Figure 38 : Graphique des résultats d'impacts environnementaux en pourcentage relatif	97
Figure 39 : Objectifs du développement durable.....	100

Sources

Source 1 : Schéma réalisé par l'auteure	8
Source 2 : MATERIALSFLOWS.NET	8
Source 3 : WWF.be (2022).....	9
Source 4 : Statbel.....	10
Source 5 : LICAR1081 - Déchets et circularité (Trachte).....	10
Source 6 : Be circular	11
Source 7 : LICAR1801 – Sophie Trachte.....	13
Source 8 : LICAR1801 – Sophie Trachte.....	14
Source 9 : Brussels environnement – Formation Bâtiment durable	15
Source 10 : BBSM – WP1	17
Source 11 : Le guide Totem – SPW, développement durable en Wallonie.....	25
Source 12 : Le guide Totem – SPW, développement durable en Wallonie.....	26
Source 13 : Adaptation du schéma de la formation en bâtiment durable proposée par Bruxelles environnement et présentée par Lionel Billet.	27
Source 14: Développement durable en Wallonie CCTB	45
Source 15 : SUPERUSE-STUDIO	46
Source 16 : Photos prise par l'auteure	50
Source 17 : Documents Retrieval	50
Source 18 : Documents Retrieval	51
Source 19 : Documents Retrieval	52
Source 20 : Documents Retrieval	53
Source 21 : Schéma réalisé par l'auteure.....	62
Source 22 : Licar1801 - Matière à construire : Les matériaux isolants – Sophie Trachte.	67
Source 23 : Documents Retrieval et annotations de l'auteure	68
Source 24 : Buildwise	69
Source 25 : Schéma réalisé par l'auteure	73
Source 26 : Schéma réalisé par l'auteure	74
Source 27 : Schéma réalisé par l'auteure	75
Source 28 : Schéma réalisé par l'auteure	75
Source 29 : Schéma réalisé par l'auteure	76
Source 30 : Schéma réalisé par l'auteure	86
Source 31 : Graphique réalisé par l'auteure.....	87
Source 32 : Graphique réalisé par l'auteure.....	88
Source 33 : Graphique réalisé par l'auteure.....	89
Source 34 : Réalisation faite par l'auteure	91
Source 35 : Réalisation faite par l'auteure	92
Source 36 : Réalisation faite par l'auteure	94
Source 37 : Graphique réalisé par l'auteure.....	96
Source 38 : réalisation faite par l'auteure.....	97
Source 39: SPW - Le développement durable en Wallonie.....	100

XIII. BIBLIOGRAPHIES

Il est à noter que les sources des exemples présentés au point III.8. Pratique actuelle, ainsi que les sources des matériaux sélectionnés et présentés en annexe sur des fiches matériaux pour les différents scénarios sont directement indiquées dans les tableaux prévus à cet effet.

2ememain. <https://www.2ememain.be/>

Agency, E. E. (29/06/2023). *Température mondiales et européennes*. <https://www.eea.europa.eu/ims/global-and-european-temperatures>

Almeida, J. P. d. (02/23). LGCIV1031 : Matériaux structuraux et géomatériaux - 1 : Introduction (Masse volumique des matériaux) https://moodle.uclouvain.be/pluginfile.php/415175/mod_resource/content/1/1_Introduction_20230206.pdf

BATITERRE. <http://batiterre.be/en-attendant/>

BBSM. *Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux* <https://www.bbsm.brussels/fr/accueil/>

BeCircular. *L'économie circulaire* <https://www.circulareconomy.brussels/a-propos/leconomie-circulaire/>

Bos, S. T. e. M. (02.2021). WP3/WP4 Analyse des filières existantes en RBC BBSM Partie 1. 51. <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2021/06/annexe-12-WP3-4-filieres-rapport-de-synthese-light-01.pdf>

Bruxelles-Environnement. *Bruxelles Environnement* <https://environnement.brussels/citoyen/a-propos-bruxelles-environnement>

Bruxelles-Environnement. (22/12/2021). *TOTEM, outil d'évaluation de l'impact des matériaux* <https://environnement.brussels/pro/outils-et-donnees/sites-web-et-outils/totem-outil-devaluation-de-limpact-des-materiaux>

Bruxelles-Environnement. (24/03/2022). Formation Totem.

Buildwise. <https://www.buildwise.be/fr/normalisation-certification/marquage-ce-des-produits-de-construction/reglement-sur-les-produits-de-construction/>?

Buildwise. *Normes harmonisées*. Retrieved 2023 from <https://www.buildwise.be/fr/normalisation-certification/marquage-ce-des-produits-de-construction/normes-harmonisees/>

Buildwise. Valeurs λ à considérer dans les calculs. <https://www.buildwise.be/fr/publications/infociches/23/infociche-23/>

Calcul écart relatif. (05/23). <https://www.maxicours.com/se/cours/calculer-un-ecart-relatif-pour-comprendre-deux-grandeurs/>

CORNERMAT. https://www.cornermat.be/nl/shop?order=create_date+desc

CYCLE-UP. <https://www.cycle-up.fr/home>

Deproost, M. (2022). Formation Totem https://cpdt.wallonie.be/wp-content/uploads/2023/03/6a_presentation_outil_totem_energie_grise.pdf

ebay. <https://www.befr.ebay.be/>

Europe. *Développement durable* Retrieved 10/08/23 from https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM:sustainable_development#:~:text=Le%20d%C3%A9veloppement%20durable%20a%20%C3%A9t%C3%A9,futures%20de%20r%C3%A9pondre%20aux%20leurs.

européen, P. (04/05/2023). *Les actions de l'UE contre le changement climatique* https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20180703STO07129/les-actions-de-l-ue-contre-le-changement-climatique?at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=changement%20climatique&at_topic=Climate_Change&at_location=BE&gclid=Cj0KCQjw84anBhCtARIsAlSI-xcYy1-qkna7y5IBs_JAlr-hPhtaNEZHiYsu6_lqfQwvWvwpyc3DpwYaAq-gEALw_wcB

FCRBE. Retrieved 04/2023 from <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/>

FCRBE. *Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe* <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/#tab-3>

FCRBE. *Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe - Pourcentage d'utilisation des matériaux de réemploi.* <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/#tab-1>

FCRBE, E. D. *Les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur de la construction* https://opalis.eu/sites/default/files/2022-02/FCRBE-booklet-01-environmental_impact-FR.pdf

FEDER. https://ec.europa.eu/regional_policy/funding/erdf_en?ettrans=fr

Frédéric Bougrain et Mathilde Doutréleau, F. (2018-2022). STATISTICAL ANALYSIS OF THE BUILDING ELEMENTS RECLAMATION TRADE IN THE BENELUX, FRANCE, THE UK AND IRELAND. <https://opalis.eu/sites/default/files/2022-02/FCRBE-en-statistical-analysis.pdf>

Ghyoot, M., Warnier, A., Billiet, L., & Devlieger, L. (2018). *Déconstruction et réemploi : comment faire circuler les éléments de construction*. Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes. <http://lib.ugent.be/catalog/rug01:002384525>

Gobbo, E. (2014-2020). WP1 Etat de l'Art BBSM. https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/05/BBSM_WP1_synth%C3%A8se-interviews-acteurs-du-secteur_2016.pdf

Gobbo, E. (2015). *Déchets de construction, matières à conception* file:///C:/Users/user/Downloads/emiliegobbo_THESE_151102.pdf

- Guinée, L. v. O. e. J. (2016). The Abiotic Depletion Potential : Background, Updates and Future
file:///C:/Users/user/Downloads/resources-05-00016%20(4).pdf
- Larousse. *glanage*. Retrieved 02.08.2023 from
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/glaner/37089#:~:text=1.,apr%C3%A8s%20le%20passage%20des%20moissonneurs.&text=2.,dans%20les%20poubelles%20des%20supermarch%C3%A9s>.
- MATERIALSFLOWS.NET. *Domestic Extraction of World in 1970-2019, by material group*. Retrieved 12/07/22
from http://www.materialflows.net/visualisation-centre/data-visualisations/?inputs_&sidebar=%22bar_chart_1%22
- Morgane Deweerdt (CSTC), M. M. B. E., FCRBE. (2020). Un guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction. *FCRBE - Interreg*. https://vb.nweurope.eu/media/10130/fr-fcrbe_wpt2_d12_un_guide_pour_lidentification_du_potentiel_de_r%C3%A9emploi_des_produits_de_construction.pdf
- Nation-Unies. *L'accord de Paris* <https://unfccc.int/fr/a-propos-des-ndcs/l-accord-de-paris>
- Network, G. F. (2022). *Empreinte écologique de chaque pays*
https://data.footprintnetwork.org/?fbclid=IwAR3HFYv0M-k9LezYltN8NB2aJfIUAMRSVa2xD-0uwOnTm2h-BpNjz-l_nnl#/
- OPALIS. <https://opalis.eu/fr/propos>
- OVAM, B. E. e. S. Totem Guide 48. https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2020-01/Totem_Guide_FR_singles.pdf
- P.Defourny. (2023). LBRIE2131-Evaluation d'impact environnemental : Module évaluation d'impact et indicateurs
- PEB, S.-. Les exigences PEB <https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb-electromobilite.html?IDC=9136#:~:text=La%20r%C3%A9glementation%20PEB%20exige%20une,en%20contact%20avec%20l'ext%C3%A9rieur>.
- ROTOR-DC. <https://rotordc.c>
- ROTOR. <http://rotordb.org/en>
- Rotor, S. S. p. (2017). WP 7 : Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf?fbclid=IwAR1uzT-dTTAvKyTr5mEi_QP9442Zhn4tBI3E2i5dzgDOWou9jT78fsCbPjo
- SALVO. <https://www.salvoweb.com/directory/27417-architecture-et-materiaux-authentiques>
- Sdgs.be. Objectifs de développement durable https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2019-08/brochure_sdgs_fr%281%29.pdf
- SPW. <https://spw.wallonie.be/>

- SPW. *Economie circulaire* Wallonie service public. Retrieved 24/06/22 from <https://economiecirculaire.wallonie.be/concept>
- SPW. Le développement durable en Wallonie <https://developpementdurable.wallonie.be/outils-17-odd/entreprises>
- SPW. (09/2019). Priorisation des matériaux de réemploi, prescription de recommandations. https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2021-03/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL%20sans%20annexe-avec%20logo.pdf?fbclid=IwAR2Jnb6HDG2aQ3J9R7uyZbVZ0ZAHMoXJ1xndqD2eXfOKA4-mVOG8MsZ_VG4
- SPW. (22/03/2018). Plan Wallon des déchets - ressources. http://environnement.wallonie.be/rapports/owd/pwd/PWDR_3.pdf
- SPW. (2021). **Circular Wallonia** : Stratégie de déploiement de l'économie circulaire. https://economiecirculaire.wallonie.be/sites/ec/files/user_uploads/Rapport%20Circular%20Wallonia_DEF_v6_0.pdf
- SPW. (2022). Production de logements neufs. 11. <http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicator sheets/MEN%202.html>
- Statbel. *Production des déchets par secteur en Belgique (2004-2018, en tonnes)*. Retrieved 06/05/22 from <https://statbel.fgov.be/fr/themes/environnement/dechets-et-pollution/production-de-dechets#figures>
- Statbel. (2023). *Indice des prix à la production dans la construction* <https://statbel.fgov.be/fr/themes/indicateurs-conjoncturels/prix/indice-des-prix-la-production-dans-la-construction#figures>
- SUPERUSE-STUDIO. (2022). <https://www.superuse-studios.com/projectplus/buitenplaats-brienenoord/>
- TOTEM. (15/10/2020). Durée de vie dans Totem. file:///C:/Users/user/Downloads/20201015_Dureesdevie%20dans%20TOTEM_FR%20(1).pdf
- Totem, B.-E.-. *Guide bâtiment durable : l'outil Totem (Optimiser)* Retrieved 30/05/23 from <https://www.guidebatimentdurable.brussels/totem-outil-belge-ameliorer-performance-environnementale-materiaux/loutil-totem>
- Trachte, S. LICAR1801 Matière à construire : Matériaux isolants. In.
- Trachte, S. LICAR 1801 Matière à construire - Déchets de construction et circularité file:///C:/Users/user/Documents/1%20UCL/TFE/documentation/Mati%C3%A8re%20a%20construire/LICAR1801_STRACHTE_03_DECHETS%20et%20CIRCULARITE%20_2021.pdf
- U.E. (20-09-2011). COM (2011) 571 final : Feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources 31. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0571&from=EN>

U.E. (2008). DIRECTIVE 2008/98/CE du parlement Européen et du conseil relative aux déchets et abrogeant certaines directives. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex:32008L0098>

U.E. (2020). **COM(2020) 98 final** : Un nouveau plan d'action pour une économie circulaire. https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:9903b325-6388-11ea-b735-01aa75ed71a1.0013.02/DOC_1&format=PDF

Wallonie, P. (2023). Le Plan de Relance de la Wallonie. https://www.wallonie.be/sites/default/files/PRW%20-%20Factsheet_avril%202023.pdf

WWF. *Jour du dépassement de la Terre 2023*. <https://www.wwf.fr/jour-du-depassement>

WWF. *L'empreinte écologique expliquée*. Retrieved 6/05/22 from https://wwf.panda.org/fr/wwf_action_themes/modes_de_vie_durable/empreinte_ecologique/

WWF.be. (2022). *Il faudrait 4,1 Terres si toute l'humanité vivait comme les Belges*. Retrieved 6/05/22 from <https://www.wwf.be/fr/rapports/jour-depassement-belgique>

