

Louvain School of Management

Le tri des déchets de construction et de démolition en Wallonie

Analyse du modèle dominant et proposition de solutions de collecte en mono-flux

Auteur : Graas Bastien
Promotrice : Hermans Julie
Année académique 2023-2024
Master [120] en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée

RÉSUMÉ

Le secteur de la construction est l'un des principaux producteurs de déchets, posant un défi majeur pour la gestion durable et circulaire de ces derniers. Le tri à la source est reconnu comme une des meilleures pratiques pour la gestion des déchets de construction et de démolition, mais il n'est toutefois que peu pratiqué en Wallonie. Ce manque de tri empêche le recyclage des déchets de démolition d'atteindre son plein potentiel.

De nombreux travaux s'intéressent au tri à la source. Cependant, la collecte de ces déchets en mono-flux (où chaque flux de déchets reste séparé des autres, de sa production à son traitement final) est souvent négligée dans la littérature scientifique. Notre travail s'est dès lors concentré sur le rôle crucial des entreprises spécialisées dans la collecte et le tri des déchets de démolition.

Nous avons d'abord décrit le fonctionnement typique des chantiers de démolition, où les déchets sont mélangés sur place dans un container unique, compliquant ainsi le tri ultérieur et réduisant la qualité des flux de déchets. Ensuite, nous avons analysé le modèle économique des entreprises spécialisées dans la collecte et le tri de ces déchets. Finalement, nous avons exploré des modes de collecte alternatifs en mono-flux, et réalisé une analyse comparative sur l'un d'entre eux, au travers d'une recherche documentaire complétée de trois entretiens semi-directifs au sein d'entreprises de collecte et de tri des déchets de démolition.

Nos résultats soulignent en particulier la viabilité de deux systèmes alternatifs de collecte : les containers semi-mixtes (un container principal sur lequel diverses fractions triées viennent se greffer dans de plus petits contenants), et la tournée du laitier en Big Bags d'1m³ (un camion-grue fait le tour de chantiers pour y récupérer leurs sacs de déchets triés).

De nos recherches, il ressort que le secteur de la démolition gagnerait à ce que les entreprises spécialisées dans la collecte et le tri des déchets de démolition adoptent ces deux systèmes et promeuvent activement leur utilisation auprès des chantiers. En outre, il leur serait avantageux d'améliorer la performance de leurs lignes de tri et de se diversifier en intégrant des activités de réemploi dans leurs opérations. Un changement de la situation actuelle ne saurait cependant se faire sans évolution du cadre législatif.

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d'abord à remercier ma promotrice, Madame Julie Hermans, pour ses commentaires et suggestions avisés, ainsi que pour sa confiance et sa compréhension.

J'aimerais ensuite exprimer ma gratitude envers Eléonore, pour son accompagnement tout au long de ce mémoire; sans elle, je serais encore perdu devant une page blanche.

Je remercie également les différentes personnes qui ont accepté de m'accorder un peu de leur temps pour un entretien, leur collaboration a été essentielle à la réalisation de ce mémoire.

Je souhaite par ailleurs remercier mes parents, pour leur soutien sans faille dans mes projets les plus fous, ainsi que mes sœurs, dont l'intelligence insolente me pousse constamment à donner le meilleur de moi-même.

Enfin, je tiens à remercier mes amis et amies pour tous ces moments de détente, sans lesquels le travail ne vaudrait pas la peine d'être fait.

Merci à tous.

Table des matières

INTRODUCTION	4
PARTIE I : THEORIE.....	8
Chapitre 1 : Concepts clés.....	8
1.1. Business Model	8
1.2. Économie circulaire dans la construction.....	9
1.3. Cadre juridique de la gestion des déchets	13
1.4. Cycle de vie des déchets C&D	14
1.5. Démolition sélective	16
1.6. Tri et collecte des déchets C&D.....	19
Chapitre 2 : Émergence des questions de recherche	21
PARTIE II : RECHERCHE EMPIRIQUE	25
Chapitre 1 : Méthodologie.....	25
1.1. Recherche documentaire	25
1.2. Entretiens	26
Chapitre 2 : Résultats.....	27
2.1. Destin des déchets de construction et démolition en Wallonie.....	27
2.2. Description des différents systèmes alternatifs au tout-venant.....	29
2.3. Analyse des coûts et du bénéfice d'un système alternatif	32
2.4. Réponses aux questions de recherche au vu des entretiens.....	37
PARTIE III : DISCUSSION ET CONCLUSION.....	42
Chapitre 1 : Dialogue entre théorie et pratique	42
Chapitre 2 : Conclusion.....	44
2.1. Contributions théoriques.....	44
2.2. Apports et recommandations managériales	46

2.3. Limites et pistes pour un futur travail	48
BIBLIOGRAPHIE PARTIE THÉORIQUE	50
BIBLIOGRAPHIE RECHERCHE DOCUMENTAIRE.....	58
BIBLIOGRAPHIE ANALYSE COMPARATIVE	62
ANNEXES.....	65
Annexe 1 : Citations originelles.....	65
Annexe 2 : Business Model Canvas non complété	66
Annexe 3 : Définition et caractéristiques « Lean Construction »	67
Annexe 4 : Guide d’Entretien.....	69
Annexe 4a : Pour entreprises A et B.....	69
Annexe 4b : Pour entreprise C	71
Annexe 5 : Caractéristiques des entreprises interviewées.....	73
Annexe 6 : Synthèse des entretiens, apports principaux, et verbatims liés.....	74
Annexe 7 : Justification de la flow-chart, freins et facilitateurs du tri à la source.....	78
Annexe 8 : Acteurs du système tout-venant :.....	82
Annexe 9 : Description détaillée des systèmes alternatifs au tout-venant	86
Annexe 9b : Quelques systèmes de collecte existants, proches de la tournée du laitier .	94
Annexe 10 : Déchets de plâtre en Wallonie et tournée du laitier pour l’analyse.....	96
Annexe 11 : Détail du calcul des coûts de la tournée du laitier	98
Annexe 12 : Détail du calcul des coûts du tout-venant	106
Annexe 13 : Justification du Business Model Canvas	112
Annexe 14 : Business Model Canvas agrandi.....	120
Annexe 15 : Détail performance économique des centres de tri.....	121
Annexe 16 : Avantages & freins des systèmes alternatifs au tout-venant	122
Annexe 17 : Justification changements d’hypothèses analyse coûts et bénéfices tournée du laitier & tout-venant	125

Annexe 18 : Détail du calcul final des coûts et bénéfices tournée du laitier & tout-venant	128
Annexe A : Retranscription des entretiens (CONFIDENTIELLE, disponible à part)	135

INTRODUCTION

1. Contexte global et motivations

Le secteur de la construction et démolition est un des principaux producteurs de déchets (Akanbi et al., 2018 ; Ossio et al., 2023 ; Van Stijn et al., 2021). La gestion de ces derniers est dès lors un enjeu crucial pour développer une économie durable et circulaire et réduire la quantité de déchets produits par nos sociétés, dans un contexte de dérèglement climatique de plus en plus alarmant. En Europe, ce flux de déchets représente 35% des déchets totaux produits (Parlement européen, 2021), ce chiffre tombant à 29% pour la Belgique (Statbel, 2022). Ce secteur y est alors le second plus gros producteur de déchets, avec 20 millions de tonnes annuelles, après l'industrie et bien devant les ménages.

Des filières de recyclage existent depuis des années mais, pour de nombreux flux de déchets de construction et de démolition (C&D), elles peinent encore à se développer. Il est pourtant essentiel que le secteur du traitement des déchets C&D se développe et tende vers une économie plus circulaire, que ce soit à travers la réutilisation, le recyclage, voire l'incinération avec valorisation énergétique. Ceci, afin de diminuer les émissions du secteur de la construction et démolition et de réconcilier prospérité économique et environnementale (Deloitte & Denuo, 2023 ; Joensuu et al., 2020 ; Pomponi & Moncaster, 2017).

Le tri à la source a été identifié comme une des meilleures pratiques de gestion des déchets de construction et de démolition (Gálvez-Martos et al., 2018). Celui-ci n'est toutefois que peu pratiqué en Belgique, empêchant dès lors le recyclage des déchets de démolition d'atteindre son potentiel maximal. Ce manque de tri sur chantier a lui-même diverses causes et solutions que nous aborderons plus amplement dans ce mémoire. Nous nous focaliserons essentiellement sur le rôle prépondérant qu'occupent les entreprises organisant la collecte des déchets démolition et leur regroupement et tri.

Ce mémoire est le fruit d'une collaboration avec Buildwise, centre d'innovation ayant pour objectifs de soutenir les professionnels de la construction et de transformer ce secteur en favorisant le partage de connaissances et l'innovation sur les chantiers (Buildwise, s.d.). Ils m'ont, au travers de tout le processus d'écriture de ce mémoire, guidé sur les questions de recherche qui les intéressaient le plus, aidé pour la mise en contact avec divers professionnels du secteur, et éclairé quant aux pratiques de gestion courantes des déchets sur chantier.

De mon côté, fort d'une majeure en Corporate Sustainable Management et d'une option en Sourcing and Procurement, j'ai été particulièrement sensible à cette problématique de logistique inverse des déchets, à la croisée de ces deux domaines. Voyons celle-ci plus en détails.

2. Problématique

Lors de la majorité des chantiers de démolition, les entrepreneurs font appel à des entreprises spécialisées dans la collecte des déchets, afin qu'elles se chargent de l'évacuation de ces derniers. Nous reviendrons plus en détail sur le déroulé précis et les tenants et aboutissants de cette relation, mais retenons pour le moment que ces entreprises de collecte fonctionnent principalement à la location de containers.

Ces containers, pesant plusieurs centaines de kilogrammes et d'une capacité allant de 8 à 20 mètres cubes pour les plus grands modèles, sont déposés par l'entreprise de collecte, et repris une fois que le client en fait la demande. L'entreprise les ramène alors à son centre de regroupement et de tri, où les différentes fractions de déchets sont séparées, massifiées, et ensuite amenées vers leur destination finale : une usine de recyclage, une installation d'incinération pour la production de ciment ou d'énergie (valorisation énergétique), ou un centre d'enfouissement technique pour les derniers déchets résiduels.

Si l'on retourne en amont de cette chaîne logistique, sur les chantiers, on observe le plus souvent un dépôt des déchets dans ce qu'on appelle un container « tout-venant » ou « mixte » ou encore « mélangé ». Ces appellations désignent toutes trois la même réalité : **un container où finissent tous les déchets produits par un chantier de démolition**. Or, ces déchets sont produits séparément les uns des autres, à travers les différentes phases du chantier. Ce n'est qu'au moment de la mise en vrac dans le container tout-venant qu'ils sont alors mélangés, pour être ensuite à nouveau séparés une fois dans le centre de tri, impliquant une surcharge de travail ainsi qu'une baisse de qualité et d'uniformité des flux de déchets.

C'est bien là que se situe le réel enjeu au cœur de ce mémoire : **nous nous intéresserons ici aux solutions pour garder ces déchets en « mono-flux », que chaque flux de déchet reste séparé des autres, depuis sa production jusqu'à sa destination finale**. Ce faisant, le taux de recyclage de chaque flux s'en trouverait grandement augmenté, permettant d'atteindre une

économie la plus circulaire possible dans le secteur du bâtiment, où la fin de vie des matériaux reste trop souvent négligée (Huang et al., 2018 ; Nußholz et al., 2019).

Ces solutions de transport des déchets en mono-flux demeurent pour le moment l'exception à la règle en matière de tri des déchets de démolition et le tout-venant reste la solution privilégiée sur la majorité des chantiers. De ce constat naissent nos différentes questions de recherche.

- a. **Quel est le business model des entreprises de location de containers tout-venant et de tri des déchets de construction et démolition et, le cas échéant, comment sont-elles si avantageuses économiquement ?**

Le coût que va entraîner le tri et le traitement d'un container tout-venant est une grande inconnue. Si les entreprises de location maintiennent ce mode de fonctionnement, il semble raisonnable de supposer qu'il leur est profitable. Nous nous emploierons à répondre à cette question à travers une description, basée sur une recherche documentaire, du système tout-venant, que nous confronterons ensuite avec les réponses obtenues par notre terrain.

- b. **Quels sont les systèmes alternatifs au tout-venant ? Quels avantages ces systèmes alternatifs apportent-ils et quels freins existent par rapport à leur utilisation ?**

Comme évoqué précédemment, nous voulons, à travers ce mémoire, mettre en lumière différents modes de collecte des déchets de démolition en mono-flux. Après avoir décrit ces derniers, leurs points forts et faibles respectifs, ainsi que ce qu'il faudrait mettre en place pour leur démocratisation, nous profiterons de notre terrain pour évaluer les raisons qui bloquent les entreprises de collecte de déchets à se reposer davantage sur ces systèmes alternatifs, qui leur épargnent pourtant de devoir effectuer un tri une fois de retour à leur centre de regroupement et de tri.

- c. **Quels sont les coûts et bénéfices associés à la collecte et au tri des déchets de plâtre, en comparant un système de mono-flux avec le tout-venant, du point de vue de l'entreprise de collecte et tri des déchets ?**

Il tenait à cœur à Buildwise d'obtenir une première analyse concrète des coûts du système tout-venant en comparaison avec un système alternatif en mono-flux. L'analyse que nous avons faite dans ce travail n'a pas prétention d'être le reflet parfait de la réalité sur terrain. Elle

n'a que vocation à donner une première image de la structure des coûts et du bénéfice pour l'entreprise de collecte de déchets.

Pour ce qui est du choix du flux, notre décision s'est portée sur les déchets de plâtre pour plusieurs raisons. En effet, certains flux de déchets de démolition sont déjà bien traités et recyclés en l'état actuel du secteur (métaux, inertes et bois non traité), il n'aurait donc pas été pertinent de les sélectionner. Ensuite, il nous fallait un déchet présent relativement fréquemment sur les chantiers (afin qu'il représente une fraction assez importante pour justifier son traitement en mono-flux) et dont une filière de recyclage existait déjà. Comme nous aurons l'occasion de le voir, le plâtre répondait bien à ces différents critères.

3. Structure du document

Ce travail de recherche est composé de trois parties. Dans un premier temps, et au travers de la revue de littérature, nous donnerons au lecteur un aperçu des concepts clés nécessaires pour comprendre le phénomène de la gestion des déchets de démolition, concepts tels que le modèle d'affaire, l'économie circulaire, et le tri à la source.

Nous détaillerons ensuite plus amplement la méthodologie utilisée pour notre partie pratique, à savoir une première recherche documentaire suivie d'un terrain constitué d'entretiens semi-directifs au sein d'entreprises de collecte et de tri de déchets de démolition et de construction.

La recherche documentaire nous permettra d'apporter des premiers éléments de réponse quant au système de traitement des déchets mixtes et à ceux en mono-flux, à savoir : la tournée du laitier, les containers compartimentés, les containers mono-flux, et l'hybride non-mélangé. Nous conclurons cette recherche documentaire par une analyse des coûts et du bénéfice du traitement des déchets de plâtre, en commençant par la tournée du laitier en Big Bags d'un mètre cube et en terminant par le tout-venant. Le terrain, quant à lui, permettra de vérifier nos hypothèses formulées grâce à la recherche documentaire et d'apporter de la lumière tant sur le business model des entreprises de collecte et de tri que sur leur attitude face à l'adoption des différents systèmes alternatifs en mono-flux.

À travers les sections résultats et discussion, nous confronterons ensuite les données obtenues sur le terrain et via la recherche documentaire à celles de la théorie développée plus tôt. Nous finirons ce travail en concluant sur notre contribution théorique, nos recommandations managériales, ainsi que sur les limites de notre travail.

PARTIE I : THEORIE

Cette première partie est structurée en deux chapitres principaux. Tout d'abord, nous détaillerons les divers concepts clés nécessaires à la bonne compréhension du fonctionnement ainsi que des tenants et aboutissants de la gestion des déchets de construction et de démolition (C&D). Nous avons séparé cette révision des concepts clés en six sections distinctes, allant du sujet le plus large, à celui le plus précis et le plus au cœur de notre travail sur le tri des déchets C&D.

Ces sections sont : le business model, l'économie circulaire dans la construction, le cadre juridique de la gestion des déchets C&D, le cycle de vie de ces déchets, la démolition sélective, et finalement, le tri et la collecte des déchets. Nous terminerons ensuite par notre second chapitre, où nous décrirons plus en détail l'émergence de nos trois questions de recherche, en nous basant sur la revue de littérature effectuée à travers notre premier chapitre.

Chapitre 1 : Concepts clés

1.1. Business Model

Avant de se plonger dans les spécificités du secteur de la construction, commençons notre revue de littérature par l'explication de la notion de business model, ou **modèle d'affaire**, concept central de notre première question de recherche. Celui-ci connaît de nombreuses définitions (Morris et al., 2005 ; Trimi & Berbegal-Mirabent, 2012). Nous utiliserons ici la plus courante d'entre elles : « Un modèle d'affaire décrit la manière dont une organisation crée, fournit, et capture de la valeur »¹ (Osterwalder & Pigneur, 2010, p.14).

En supplément à cette définition, notons l'émergence, ces dernières années, des modèles d'affaires circulaires. Ces derniers s'appuient généralement sur la définition « classique » d'un business model, en s'alignant avec les principes de l'économie circulaire (Geissdoerfer et al., 2020 ; Pollard et al., 2023), que nous décrirons dans la prochaine section de notre travail. Ces modèles circulaires soulignent l'importance de fermer et réduire les boucles de ressources utilisées (Pollard et al., 2021) mais restent silencieux, dans la majorité des cas, sur la façon dont l'économie circulaire crée de la valeur économique pour l'entreprise (Ranta et al., 2018).

Or, l'utilisation de modèles d'affaires nous intéresse justement car elle permet d'étudier la structure et les processus de création de valeur des entreprises (Nußholz et al., 2019),

¹ Traduit de l'anglais, voir texte originel en Annexe 1

précisément les informations que nous recherchons concernant les entreprises de collecte et de tri des déchets de construction et démolition (C&D). Parmi les divers outils permettant plus concrètement d'étudier le modèle d'affaire d'une entreprise, nous utiliserons le Business Model Canvas (BMC), qui accompagne la définition de Osterwalder & Pigneur.

Le BMC, dont une version non complétée est retrouvable en Annexe 2, est structuré en trois zones : créer, délivrer, et capturer la valeur. Il permet de mieux visualiser et identifier les sources de création, de livraison, et de capture de valeur (Trimi & Berbegal-Mirabent, 2012) au travers de neuf blocs : segments de clientèle, proposition de valeur, canaux (de communication et délivrance), relations avec les clients, flux de revenus, ressources clés, activités clés, partenariats clés, et structure de coûts (Keane et al., 2018 ; Osterwalder & Pigneur, 2010 ; Trimi & Berbegal-Mirabent, 2012). Chaque bloc contient une série de questions qui, une fois répondues, permettent de valider le modèle.

Notons que ces dernières années, de nombreuses versions alternatives du BMC ont émergé, chacune apportant ses propres ajustements à ce dernier. Le Flourishing Business Canvas, par exemple, élargit l'offre de valeur à toutes les parties prenantes, plaçant au centre de la compagnie, non plus seulement les intérêts financiers, mais aussi les intérêts sociaux et environnementaux (Hoveskog et al., 2018).

Néanmoins, notre étude visant avant tout à mettre en lumière la structure des coûts et bénéfices des entreprises de collecte de déchets, nous préférons partir d'un outil plus largement utilisé, de manière à assurer une meilleure comparabilité et pertinences de nos résultats, et à faciliter leur diffusion.

1.2. Économie circulaire dans la construction

Rapprochons-nous maintenant du contexte de la gestion des déchets de démolition, en commençant par une série de concepts liés à l'utilisation plus durable des ressources.

1.2.1. Logistique inverse

En premier lieu, relevons que la récolte des déchets de démolition dans l'optique de leur traitement peut être assimilée à de la **logistique inverse**. Ce concept, qui a émergé au début des années 90 (Lambert & Riopel, 2007), connaît de nombreuses définitions selon les auteurs. Nous reprendrons ici celle de Eymery (1997, p.139), pour lequel un système de logistique inverse « *permet de répondre à la nécessité de retirer du service les produits après usage et de*

les traiter en les détruisant, en les transformant ou en les recyclant, dans le but de minimiser les coûts en valorisant les produits récupérés et [...] de répondre aux exigences du respect de l'environnement ».

En effet, cette définition met en lumière divers aspects particulièrement pertinents à notre problématique. Le recyclage et le respect de l'environnement occupent une place centrale dans la logistique inverse. La destruction ou transformation des produits usagés peut se rapporter à la valorisation énergétique des déchets de démolition (incinération avec récupération d'énergie). Et, finalement, la nécessité de retirer les produits après usage trouve écho dans la collecte des déchets sur laquelle nous nous attarderons plus en détail.

Comme nous aurons l'occasion de le constater à travers notre analyse, la chaîne logistique inverse a une structure de réseau relativement complexe en comparaison à la chaîne logistique traditionnelle, avec des destinations qui peuvent être changeantes pour un même flux de produits (Dhib, 2017).

1.2.2. Économie circulaire

Cette collecte des déchets qui nous intéressera tout particulièrement n'est cependant qu'une partie du problème complexe de la gestion des déchets de démolition et de construction, qui s'inscrit elle-même dans une démarche encore plus large, et de plus en plus plébiscitée, d'**économie circulaire (EC)**.

Né de différents courants de pensée et popularisé par la fondation Ellen MacArthur, ce concept s'oppose à l'économie linéaire, que l'on peut sommairement résumer par l'idée de « produire-utiliser-jeter » (Fondation Ellen MacArthur, 2013 ; Van Stijn et al., 2021). À l'heure actuelle, l'EC gagne du terrain (Geissdoerfer et al., 2017 ; Pomponi & Moncaster, 2017) et est graduellement considérée comme une alternative viable sérieuse face à l'économie linéaire (Ossio et al., 2023).

Comme nous le remarquons, la notion d'économie circulaire est vaste. Afin de garder à l'esprit une définition plus concise, nous retiendrons ici celle de Geissdoerfer et al (2017, p.759) : « *Un système régénératif dans lequel l'apport et les déchets de ressources, les émissions et fuites d'énergie, sont minimisés en ralentissant, fermant et rétrécissant les boucles de matières et*

d'énergie. Cet objectif peut être atteint grâce à une conception durable, l'entretien, la réparation, la réutilisation, la remise à neuf et le recyclage. »²

L'idée centrale de l'économie circulaire est de diminuer la quantité de déchets produits et d'avoir une meilleure gestion des ressources, afin de réconcilier prospérité économique et environnementale (Pomponi & Moncaster, 2017). Ceci, à travers la réutilisation et le recyclage mais aussi, et surtout, en diminuant l'utilisation et le besoin de matières primaires (Joensuu et al., 2020).

1.2.3. Les impératifs R

Opérer une transition vers l'économie circulaire dans la gestion des déchets est aisé à dire, mais comment faire suivre cette idée plus concrètement ? Pour aider à cela, nous pouvons nous appuyer sur **les impératifs R**. Ces derniers représentent les processus qui distinguent l'économie circulaire des économies linéaires, ils sont alors décisifs pour réussir à opérationnaliser l'EC (Jansen et al., 2020). Aussi appelés processus de rétention de valeur (PRVs), ou stratégies R, leur nom d'impératifs R provient du préfixe « R- » qu'ils partagent tous.

Fondés sur trois impératifs R de base, soit Réduire, Réutiliser et Recycler (Bai & Sutanto, 2002 ; Lu & Yuan, 2011), leur cadre a ensuite évolué vers cinq stratégies qui, bien qu'originellement en anglais, ont rapidement trouvé leur équivalent en français. Par ordre de désirabilité décroissante, l'on trouve : **Refuser** tout ce qui n'est pas essentiel, **Réduire** les matériaux nocifs et non-recyclables ainsi que les déchets de matériaux, **Réutiliser** directement une ressource, **Réaffecter** un élément à un nouvel objectif, et pour finir, **Recycler** les déchets en nouveaux produits réutilisables (Balwan et al., 2022).

Comme nous pouvons le constater, le recyclage est considéré comme la stratégie la moins impactante, dans le sens qu'elle n'agit que sur les déchets qui n'ont pas pu être évités par une des quatre autres stratégies. Notons tout de même que tous les articles s'intéressant aux « principes des 5R » n'adoptent pas la même terminologie. Par exemple, Pan et al. (2015) considère que cette dernière consiste en : Réduire, Réutiliser, Recycler, Récupération d'énergie et « land Reclamation », processus de création de nouvelles terres (n'ayant pas d'équivalent - R en français).

² Traduit de l'anglais, voir texte originel en Annexe 1

Actuellement, la littérature admet d'ordinaire dix impératifs R, soit : Refuser, Réduire, Réutiliser, Réparer, Remettre à neuf, Remanufacturer, Réaffecter, Recycler, Récupérer l'énergie, et Ré-exploiter (récupération des matériaux mis en décharge) (Jansen et al., 2020 ; Reike et al., 2018). Une fois de plus, l'ordre est donné par impact décroissant, et nous pouvons noter que le recyclage n'occupe plus la dernière position, mais précède à présent la valorisation énergétique (récupération d'énergie) et la ré-exploitation. Néanmoins, comme précisé ci-avant, cette liste n'est pas figée et certains articles, à l'instar de Reike et al. (2018) et de Panchal et al. (2021), évoquent l'existence de pas moins de 38 stratégies R.

L'importance du recyclage, bien que ne devant pas être négligée, est donc toute relative, étant donné qu'il n'intervient qu'à la fin du cycle de vie du matériau, tandis que c'est en amont que les stratégies ont le plus d'impact. De plus, un recyclage infini n'est thermodynamiquement pas faisable, ce qui fait que le recyclage à l'infini ne peut pas être considéré comme une solution viable (Campbell-Johnston et al., 2020).

En aval du recyclage, se trouvent les deux autres destins qui peuvent attendre les déchets finaux qui n'ont pas pu être évités. Ils consistent en la valorisation énergétique, incinération avec récupération de l'énergie produite sous forme de chaleur, ainsi que l'étape ultime, la mise en décharge (Bai & Sutanto, 2002), qui ne fait pas partie des stratégies R étant donné qu'elle n'apporte aucune circularité mais fait plutôt partie du modèle linéaire.

Cependant, force est de constater que le recyclage occupe une place prépondérante dans l'imaginaire collectif et dans la recherche académique. En effet, une étude menée sur 105 articles à propos de l'économie circulaire a démontré qu'il restait l'impératif R le plus évoqué dans la littérature scientifique sur l'EC, suivi de la réutilisation et de la remanufacture (Panchal et al., 2021).

De plus, à l'exclusion des deux premières stratégies R, refuser et réduire, qui s'apparentent respectivement à une absence et une réduction de ressources, ces impératifs peuvent aussi être regroupés sous le nom de stratégies d'allongement de la durée de vie des ressources, ou RLES pour Resource Life-Extending Strategies (Blomsma & Brennan, 2017). Cette dernière dénomination, plus explicite, met alors directement au premier plan la volonté d'utiliser les ressources au maximum de leur capacité.

Pour conclure cette section, prenons acte d'un dernier concept, celui de « **Lean Construction** ». Succinctement, ce terme désigne une approche de la construction visant à minimiser le gaspillage de matériaux, de temps, et d'efforts et ce, afin de maximiser la rentabilité des activités de construction.

Afin de ne pas dévier de la gestion des déchets C&D, nous ne nous pencherons pas plus amplement sur le sujet dans notre texte. Cependant, une description plus détaillée de la lean construction et de son lien avec la gestion des déchets C&D est disponible en Annexe 3.

1.3. Cadre juridique de la gestion des déchets

Immergeons-nous à présent dans le secteur de la construction à proprement parler, et dans la gestion de ses déchets plus spécifiquement. Tout d'abord, il convient de souligner l'importance des facteurs politiques et légaux.

Ces dernières années, le **cadre juridique** posé par l'Union Européenne (UE) n'a eu de cesse de promouvoir une économie plus circulaire dans la construction (Bertino et al., 2021). Le premier texte important à mentionner est la Directive-Cadre sur les Déchets (« Waste Framework Directive » en anglais) de 2008 (Parlement Européen, 2008). Posant les bases de la politique de gestion des déchets dans l'UE, ce texte a légiféré qu'un minimum de 70% (en poids) des déchets C&D non dangereux devaient être réutilisés, recyclés ou valorisés matériellement, à dater de 2020 (Ramos et al., 2024).

Plusieurs lacunes ont cependant été soulignées dans cette directive. En premier lieu, certains estiment qu'elle ne distingue pas assez les différentes formes de valorisation des ressources (Arm et al., 2014) et concentre uniquement les efforts sur la diminution des déchets mis en décharge, poussant alors les Etats Membres au décyclage plutôt qu'à un recyclage de haute qualité (Di Maria et al., 2018) ou à un réemploi des matériaux.

De plus, en considérant les déchets au poids, elle favorise le recyclage des déchets inertes, au détriment d'autres qui amèneraient de plus larges bénéfices environnementaux (Arm et al., 2014). Notons aussi que ce seuil objectif de 70% peut être considéré comme ambitieux pour certains Etats Membres, mais ne motive pas ceux qui l'ont déjà atteint à intensifier leur recyclage (Gálvez-Martos et al., 2018).

Suivant ce texte de 2008, la question de l'économie circulaire et de la gestion des déchets C&D a été abordée à de multiples reprises par l'UE. En 2014, la Commission a encouragé, au travers d'une de ces communications, l'utilisation de la « démolition sélective » (voir section 1.5, p.16), de la réutilisation et du recyclage afin de réduire la quantité de déchets C&D mis en décharge (Bertino et al., 2021 ; Commission Européenne, 2014).

En 2018, la Directive-Cadre sur les Déchets a été amendée par une nouvelle directive établissant que les Etats Membres devaient prendre des mesures pour promouvoir la démolition sélective et s'assurer que des systèmes de tri soient en place au minimum pour le bois, les inertes, les métaux, les verres, le plastique et le plâtre (Parlement Européen, 2018 ; Ramos et al., 2024). Enfin, en 2020, le secteur du bâtiment a été désigné comme prioritaire dans le second plan d'action pour l'économie circulaire de l'Union Européenne (Commission Européenne, 2020).

L'élaboration de politiques vis-à-vis de l'économie circulaire est un sujet complexe et implique toujours un compromis entre aspects économiques et environnementaux (Di Maria et al., 2018). Cette élaboration ne se fait pas qu'au niveau européen, et, en dehors des directives que nous venons d'aborder, de nombreuses mesures plus spécifiques peuvent être prises au niveau régional ou étatique pour faciliter le recyclage, et l'économie circulaire plus largement.

1.4. Cycle de vie des déchets C&D

1.4.1. Analyse du cycle de vie

Il existe encore un autre concept devenu presque incontournable quand on parle d'économie circulaire, en particulier dans le secteur de la construction : **l'Analyse du Cycle de Vie** (ACV, ou LFA, de l'anglais « Life Cycle Analysis »). Nous reprendrons ici la définition qui en est faite par Di Maria et al. (2018), p.4 : « *Une méthodologie pour évaluer les impacts environnementaux d'un produit ou processus depuis son origine jusqu'à son élimination finale* »³

Dans le secteur du bâtiment, l'ACV permet donc d'évaluer les impacts environnementaux des matériaux d'un bâtiment à travers tout leur cycle de vie (Van Stijn et al., 2021) : de leur extraction en tant que matière première à leur fin de vie (recyclage, valorisation énergétique ou autres), en passant par leur transformation et incorporation au bâtiment. Cette méthodologie est alors largement utilisée pour comparer les performances environnementales de différentes

³ Traduit de l'anglais, voir texte original en Annexe 1

options de gestion des déchets de construction et démolition (C&D) (Ekvall et al., 2007), certaines études se focalisant sur la comparaison entre scénarios de fin de vie des déchets.

Suivant Bertino et al. (2021), nous considérerons cinq étapes au cycle de vie d'un bâtiment. En premier lieu, la conception, phase qui ne doit pas être négligée étant donné qu'elle impacte toutes les autres étapes du cycle, dont celle de sa fin de vie en influençant grandement la quantité de déchets qui sera produite lors de la démolition du bâtiment (Jaillon & Poon, 2014).

Viennent ensuite les étapes de production, construction et d'utilisation du bâtiment. Suivis de l'étape mentionnée ci-dessus et la plus au centre de notre attention : la **Fin de Vie** (FdV ou EoL, de l'anglais « End-of-Life »). De nombreuses études ont reconnu l'importance de cette étape (Sanchez et al., 2020) et ont comparé des scénarios de FdV des bâtiments, examinant alors les impacts environnementaux de telle ou telle situation.

Citons, par exemple, une étude faite en Flandre distinguant quatre scénarios de FdV pour les matériaux des bâtiments. Soit, par ordre décroissant d'impact environnemental : (i) l'enfouissement, (ii) le décyclage, (iii) le recyclage avancé, et (iv) le recyclage après « démolition sélective » (Di Maria et al., 2018).

1.4.2. Décyclage

Plusieurs termes que nous venons d'évoquer nécessitent d'être développés et définis. Tout d'abord, le **décyclage** ou « downcycling » en anglais. Selon Helbig et al., (2022, p.1168), le décyclage se définit comme « *Le phénomène de réduction de la qualité des matériaux retransformés à partir de déchets, par rapport à leur qualité d'origine. [...] Les matériaux décyclés sont considérés comme des matériaux recyclés.* »⁴

De nos jours, la pratique la plus commune de recyclage des déchets C&D (déchets de construction et de démolition) est d'en faire des agrégats recyclés (AR) pour remplacer les agrégats naturels dans diverses applications. C'est typiquement le cas dans la composition du bitume de nos routes (Di Maria et al., 2018) à partir de déchets inertes, qui représentent la plus grosse fraction des déchets C&D (Hu et al., 2013) et qui « *ne se décomposent pas et ne produisent aucune réaction chimique, physique ou biologique de nature à nuire à l'environnement* » (Bentarzi et al., 2007, p.2).

⁴ Traduit de l'anglais, voir texte originel en Annexe 1

Ces agrégats recyclés sont donc souvent associés à du décyclage et, dans une logique d'optimisation du cycle de vie d'un matériau, il faudrait pouvoir s'en éloigner afin d'aller vers une plus grande qualité de recyclage des déchets C&D (Di Maria et al., 2018).

1.5. Démolition sélective

En second lieu, nous avons évoqué à plusieurs reprises le terme « **démolition sélective** » sans plus le détailler. Aussi désignée sous l'appellation de « **déconstruction** », la démolition sélective a une place primordiale dans l'économie circulaire des déchets C&D et connaît de nombreuses définitions en fonction des auteurs. À noter que nous utiliserons les termes « démolition sélective » et « déconstruction » de façon indiscriminée.

1.5.1. Définition et caractéristiques

Comme son nom de déconstruction le laisse imaginer, ce processus se conçoit comme l'inverse de la construction (Ramos et al., 2024). Plus précisément, on peut le définir comme « *Un processus de désassemblage en ordre inverse de la construction, avec pour objectif de causer le moins de dommages possibles aux matériaux et éléments de construction* »⁵ (Chau et al., 2017, p.2). Notons de plus, que, rapportée aux stratégies R, la déconstruction est un exemple éloquent de réutilisation.

Malgré le fait que la démolition sélective ne soit pas une pratique très répandue dans la plupart des pays de l'UE (Nußholz et al., 2019), elle n'a cessé de gagner en influence ces dernières années grâce aux nombreux avantages qu'elle présente (Akanbi et al., 2018). La déconstruction joue un rôle prépondérant dans la transition vers une économie circulaire, se présentant comme une alternative durable à la démolition conventionnelle (Bertino et al., 2021).

Intervenant dans l'étape de fin de vie des bâtiments, la déconstruction est considérée, au même titre que la séparation des flux de déchets à la source, comme cruciale afin d'obtenir des fractions propres et recyclables (sans décyclage) de déchets (Nußholz et al., 2019). Elle est aussi considérée comme essentielle pour assurer une économie circulaire efficace (Akanbi et al., 2018).

Parmi les divers bénéfices qu'on peut lui attribuer, elle permet de maximiser la valeur des bâtiments existants (Sanchez et al., 2020), d'augmenter le taux de réacheminement des

⁵ Traduit de l'anglais, voir texte originel en Annexe 1

déchets de démolition vers une réutilisation directe ou vers du recyclage (Gálvez-Martos et al., 2018), et de réduire l'utilisation de nouveaux matériaux et la mise en décharge des déchets, réduisant donc l'impact environnemental du secteur de la construction (Pantini & Rigamonti, 2020). Finalement, la déconstruction augmente la valorisation des déchets en tant que matières premières secondaires, et requiert moins de dépense énergétique que le recyclage (Akanbi et al., 2018).

Il ne faut tout de même pas tomber dans le travers de considérer la démolition sélective comme une solution miracle. Cette dernière a aussi ses points faibles et obstacles. Tout d'abord, la viabilité économique de la déconstruction varie en fonction des conditions locales, c'est-à-dire principalement des coûts de main-d'œuvre, de la valeur de la taxe de mise en décharge et des prix du marché pour les matériaux de récupération (Coelho & De Brito, 2011 ; Pantini & Rigamonti, 2020).

En outre, les implémentations actuelles de déconstruction manquent de mesures objectives et reposent majoritairement sur l'intuition des praticiens, produisant souvent des résultats non optimaux (Sanchez et al., 2019). Ajoutons aussi que les bâtiments actuels n'ont pas été pensés pour être déconstruits (Pantini & Rigamonti, 2020). De nos jours encore, ils sont souvent considérés comme des « objets permanents » qui devraient durer aussi longtemps que possible. Leur conception oublie donc généralement de penser au futur démantèlement. L'énorme variété des bâtiments à déconstruire empêche une uniformisation des procédés et est aussi un frein à cette déconstruction (Bertino et al., 2021).

Enfin, la démolition sélective demande plus de temps, d'espace, et de main d'œuvre qualifiée (Pantini & Rigamonti, 2020), et a un coût initialement plus élevé pour le processus de déconstruction, bien que la revente des matériaux puisse ensuite faire redescendre le coût net en deçà de ce qu'une démolition classique aurait donné (Sanchez et al., 2020).

1.5.2. Facteurs facilitateurs

L'efficacité et le succès d'un projet de déconstruction dépendront donc de multiples facteurs et celle-ci ne sera pas possible ni pour tous les chantiers, ni dans toutes les régions. Comme évoqué précédemment (voir section 1.3, p.13), le cadre juridique est un facilitateur primordial pour l'économie circulaire, incluant la démolition sélective.

Plus spécifiquement, plusieurs politiques précises, pouvant augmenter le succès de la déconstruction, ont été identifiées dans la littérature scientifique. Parmi celles-ci, on retrouve l'augmentation de la taxe de mise en décharge et des tarifs de reprise des déchets dans les usines de recyclage, favorisant alors économiquement la déconstruction (Di Maria et al., 2018).

Nußholz et al. (2019) identifie cinq facilitateurs principaux : orienter la conception des bâtiments pour la déconstruction, rendre le tri sur chantier et la collecte séparée des déchets C&D obligatoires, augmenter le nombre d'entreprises de collecte et vente de ressources (pour augmenter leur compétitivité et la diversité des offres), améliorer la certification des matériaux récupérés, et accroître l'adoption des principes de l'économie circulaire. Une conception de la construction des bâtiments orientée vers l'utilisation de matériaux réutilisables facilite aussi, en toute logique, la démolition sélective (Akanbi et al., 2018).

En dernier lieu, il convient de ne pas négliger l'importance des parties prenantes du chantier. La motivation de l'ensemble des intervenants (ouvriers, ingénieurs, architectes, ou autres) est un élément décisif à la réussite d'une politique de diminution des déchets C&D (Ramos et al., 2024). Une étude sur le comportement des ouvriers vis-à-vis de la gestion des déchets de construction et démolition a ainsi démontré que ce dernier était hautement influencé par leur attitude, leur expérience passée et la pression sociale (Bakshan et al., 2017).

1.5.3. Minage urbain

Toujours dans la réutilisation, évoquons à présent l'Urban Mining, terme que l'on peut traduire par « **Minage Urbain** » (MU) ou « Exploitation minière urbaine », concept fréquemment associé à la déconstruction. Bien que ce terme ait souvent été utilisé à tort pour désigner le recyclage de matériaux dans son ensemble (Cossu & Williams, 2015 ; Krook & Baas, 2013), il désigne en réalité une notion plus étroite d'extraction de ressources secondaires depuis des réservoirs obsolètes, d'origine anthropogène, en zone urbaine (Cossu & Williams, 2015), certains articles limitant même la notion à l'unique récupération de métaux (Krook & Baas, 2013).

Le minage urbain est souvent associé à un autre terme, celui de minage de décharge (de l'anglais « Landfill Mining »). Ce concept, plus restreint (Cossu & Williams, 2015), peut se définir comme « *un procédé d'extraction de minéraux ou d'autres ressources naturelles solides*

à partir de déchets dont on s'est débarrassé en les enfouissant dans le sol »⁶ (Krook et al., 2012, p.1). Il est important de noter que le minage de décharge, au contraire du minage urbain, tire son origine du secteur de gestion des déchets (Krook & Baas, 2013) et ne doit pas être confondu avec le MU.

Étant donné que la densité des bâtiments augmente dans nos zones urbaines et que ces constructions abondent en ressources, les perspectives de minage urbain de ressources secondaires ont gagné en popularité ces dernières années (Koutamanis et al., 2018). Cependant, le MU de bâtiments, en opposition avec celui de déchets électriques et électroniques, demande des considérations particulières (Arora et al., 2020).

Avant toute chose, l'extraction des matériaux dans le cadre du minage urbain ne saurait se faire sans faisabilité économique (Cossu & Williams, 2015). À ce titre, notons qu'une fois de plus, tous les contextes ne sont pas favorables à la démocratisation du minage urbain. En Belgique, cependant, la rareté des matières premières favorise le recyclage de matériaux existants et donc le MU (Giorgi et al., 2022).

L'obstacle principal au minage urbain des constructions réside dans la difficulté d'évaluer le stock disponible via des modèles issus d'articles scientifiques, au vu des grandes différences régionales en bâtiments (Koutamanis et al., 2018). En somme, malgré la désirabilité supérieure de la réutilisation par rapport au recyclage, celle-ci peine à se développer dans le secteur du bâtiment, pour lequel elle est moins appropriée (Arora et al., 2020 ; Koutamanis et al., 2018).

1.6. Tri et collecte des déchets C&D

Terminons notre revue de littérature par la notion au cœur de notre travail et intimement liée aux concepts expliqués ci-avant : le tri et la collecte des déchets de construction et démolition. La séparation efficace des différents flux de déchets est cruciale pour permettre le recyclage (Ghisellini, Ripa, et al., 2018 ; Nußholz et al. 2019) et la production de matière primaire secondaire, dans une optique d'économie circulaire. Cette séparation efficace permet, de plus, une plus grande valorisation énergétique des déchets (Ghisellini, Ripa, et al., 2018).

Le tri peut s'effectuer de deux façons distinctes, qui vont influencer grandement la qualité de ce dernier. Il peut soit s'opérer à la source, directement sur chantier, soit hors site (Ruiz et al.,

⁶ Traduit de l'anglais, voir texte original en Annexe 1

2020), c'est-à-dire dans un centre de tri. De nombreuses sources scientifiques soulignent l'importance du **tri à la source**, qui confère de nombreux avantages écologiques en comparaison au tri hors site.

Parmi les avantages identifiés, les deux principaux sont l'augmentation des taux de réutilisation et de recyclage, en permettant une meilleure séparation par le traitement des déchets en mono-flux (que chaque flux de déchet reste séparé des autres, depuis sa production jusqu'à sa destination finale), et la réduction des coûts de transport et d'élimination associés (Gálvez-Martos et al., 2018 ; Hossain et al., 2017 ; Poon et al., 2001 ; Wang et al., 2010).

Le tri sur chantier permet, de plus, de diminuer la quantité de déchets mise en décharge, ce qui a pour effets non seulement de réduire la pollution associée à cette dernière, mais aussi de prolonger la durée de vie des décharges (Wang et al., 2010). Enfin, il permet de réduire les efforts de tri à effectuer (Poon et al., 2001), les déchets étant plus facilement triés sur chantier qu'une fois mélangés.

Malgré ces nombreux bénéfices, les rares études s'intéressant à la motivation des entrepreneurs en démolition montrent que ces derniers sont réticents à l'idée du tri sur chantier, apparaissant comme principalement motivés par le profit et manquant de sensibilisation environnementale (Ghisellini, Ji, et al., 2018). Ils considèrent dès lors le tri sur chantier comme trop exigeant en termes de main-d'œuvre et de temps (Poon et al., 2001).

Le tri à la source ne représente donc pas la norme pour le traitement des déchets C&D (Bovea & Powell, 2016), qui se retrouvent majoritairement mélangés et contaminés (Huang et al., 2018), ce qui conduit à une plus grande proportion de ces déchets en décharge (Wang et al., 2010). À noter que le tri hors site et l'incinération sont les stratégies les plus communément appliquées (Bovea & Powell, 2016).

Quant à la façon dont ce tri prend place, Gálvez-Martos et al. (2018) identifie diverses stratégies pour une séparation efficace des flux : l'identification des poubelles et leurs tailles différentes en fonction de la quantité de déchets prévue, le fait de rassembler les poubelles en un seul endroit (bien identifié par tous) tout en ayant des points de collecte temporaires proches du lieu de travail, et la mise au courant systématique de tout travailleur du chantier, qu'il soit affilié à l'entrepreneur ou non, quant aux mesures de tri en vigueur. Hossain et al. (2017) souligne aussi l'importance d'une disposition intelligente des poubelles et containers.

De nombreux facteurs influencent le succès d'un tri sur chantier. Wang et al. (2010) en identifie six principaux : la main d'œuvre, le marché des matériaux recyclés, la facilité de tri, une meilleure gestion, l'espace sur chantier, et l'équipement à disposition pour le tri des déchets C&D. Poon et al. (2001), quant à lui, souligne que le tri à la source ne saurait se répandre à la majorité des chantiers sans changements de législation ou sans exigences contractuelles.

Pour ce qui est de la **collecte des déchets** en elle-même, elle n'est que peu abordée dans la littérature scientifique. Les quelques articles traitant du sujet s'intéressent en général à l'analyse du cycle de vie des matériaux (voir section 1.4, p.14) et à l'impact que le transport a sur ce dernier. À cet égard, tous indiquent que le transport influence grandement le bilan écologique de la fin de vie des matériaux (Bovea & Powell, 2016 ; Brambilla et al., 2019 ; Coelho & De Brito, 2012 ; Ruiz et al., 2020). Il est donc primordial d'accorder une attention particulière au transport dans ses différentes modalités (Ruiz et al., 2020).

Lorsque le tri à la source permet d'envoyer directement les flux de déchets depuis le chantier vers les différentes usines de recyclage sans passer par un centre de tri, la diminution des distances de transport est un facteur clé dans la réduction de l'impact environnemental lié au traitement des déchets C&D (Bovea & Powell, 2016 ; Ruiz et al., 2020).

Chapitre 2 : Émergence des questions de recherche

Avant de nous intéresser à la façon dont nos questions de recherche interagissent avec la littérature scientifique, notons deux éléments importants sur ces dernières.

Tout d'abord, ces questions de recherche se sont précisées au fil des semaines, au fur et à mesure des discussions avec Eléonore de Roissart, chercheuse au Laboratoire "Solutions Durables et Circulaires" de Buildwise. Dans la suite de notre travail, nous prendrons donc la liberté d'inclure, en complément de notre revue de littérature, divers éléments issus de ces précieux échanges qui ont influencé le choix de nos questions de recherche.

Ensuite, pour les mêmes raisons, nous nous permettrons aussi l'une ou l'autre digression quant à la recherche documentaire qui sera présentée en partie II de ce travail ; certaines de ces recherches ont en effet été menées avant que les questions de recherche ne soient définitivement formulées.

Ceci étant dit, intéressons-nous maintenant à l'origine de ces questions.

De nombreux travaux ont identifié **le tri à la source** comme conférant **de multiples avantages, principalement environnementaux, en comparaison au tri hors site** (Gálvez-Martos et al., 2018 ; Hossain et al., 2017 ; Nußholz et al. 2019 ; Poon et al., 2001 ; Wang et al., 2010). Parmi ces bénéfices, citons l'augmentation des taux de réutilisation et de recyclage (en permettant une meilleure séparation des flux), la réduction des coûts d'élimination, la diminution de la quantité de déchets finissant en décharge, et la réduction des efforts de tri.

Malgré cela, le tri à la source reste l'exception à la règle, et la majorité des déchets de construction et démolition se retrouvent mélangés et contaminés (Bovea & Powell, 2016 ; Huang et al., 2018), une partie finissant alors son cycle de vie en décharge (Wang et al., 2010). Le tri hors site, en passant par un centre de tri, et l'incinération avec valorisation énergétique constituent, quant à eux, la norme pour le traitement de ces déchets (Bovea & Powell, 2016).

En effet, le tri à la source se heurte non seulement à la résistance des entrepreneurs de chantiers de démolition, le considérant comme trop coûteux et exigeant (Ghisellini, Ji, et al., 2018 ; Poon et al., 2001), mais, de nos échanges avec Buildwise, il ressort également que les entreprises de collecte et de tri des déchets elles-mêmes se montrent majoritairement réticentes quant au tri sur chantier. Ceci, de crainte que celui-ci ne court-circuite leur participation à la chaîne, ou tout simplement car cette pratique perturberait leur « business as usual » et leur demanderait de modifier leurs processus actuels de création et de capture de valeur, en somme, de modifier leur modèle d'affaire (Nußholz et al., 2019 ; Osterwalder & Pigneur, 2010).

De cela émerge alors notre première question de recherche : ***Quel est le business model des entreprises de location de containers tout-venant et de tri des déchets C&D et, le cas échéant, comment sont-elles si avantageuses économiquement ?***

En effet, si la situation actuelle convient à ces entreprises, cela signifie qu'elles arrivent à créer et retenir de la valeur et qu'elles sont profitables économiquement. Cependant, à notre connaissance, les raisons de cette profitabilité n'ont pas été explorées dans la littérature. Notre travail tentera donc d'apporter une première contribution dans ce domaine.

Comme nous venons de le voir, de nombreux articles se sont intéressés au tri à la source et à la séparation des déchets de démolition pour une collecte et un traitement ultérieurs en mono-flux. Cette collecte est cependant souvent négligée dans la littérature scientifique, bien

que les rares articles s’y intéressant par le biais de l’analyse du cycle de vie indiquent que le transport a un impact significatif sur le bilan écologique de la fin de vie des matériaux (Bovea & Powell, 2016 ; Brambilla et al., 2019 ; Coelho & De Brito, 2012 ; Ruiz et al., 2020).

Pourtant, des discussions avec Eléonore de Roissart et de la recherche documentaire effectuée sur le sujet, il ressort que, pour un chantier de taille moyenne, les modalités de collecte en mono-flux sont fondamentalement différentes de celles d’un simple container pour déchets mixtes. Ceci est d’ailleurs appuyé par l’article de Gálvez-Martos et al. (2018), qui souligne l’importance d’avoir des contenants adaptés à la quantité de déchets prévue pour chaque flux, cette multiplication des contenants sous-entendant dès lors une collecte plus complexe.

Cette collecte, semblant au premier abord plus élaborée, n’est donc, à notre connaissance, pas expliquée dans la littérature scientifique. De plus, tant nos échanges avec Buildwise que notre recherche documentaire montrent que les modes de collecte en mono-flux restent une pratique marginale et méconnue de la plupart des entreprises de démolition. De cela, naît notre deuxième question de recherche : ***Quels sont les systèmes alternatifs au tout-venant ? Quels avantages apportent-ils et quels freins existent par rapport à leur utilisation ?***

Notre troisième et dernière question est intimement liée à celle-ci et émerge de la même interrogation quant à l’existence et la viabilité de systèmes alternatifs au tout-venant. La voici : ***Quels sont les coûts et bénéfices associés à la collecte et au tri des déchets de plâtre, en comparant un système de mono-flux avec le tout-venant, du point de vue de l’entreprise de location de containers ?***

Cette dernière question permet en effet de plonger plus en profondeur dans un des systèmes alternatifs que nous aurons préalablement décrit. Cela nous permettra de juger de la réelle viabilité économique de ce système pour les entreprises de location de containers qui, comme nous l’avons évoqué précédemment, sont généralement réticentes à ces méthodes alternatives de collecte de déchets C&D.

Maintenant que nous avons défini l’étendue de nos questions de recherches, remettons succinctement ces dernières dans le contexte plus global de la gestion des déchets de démolition et construction.

Nos questions s’intéressent donc à la collecte et au transport des déchets C&D, étape primordiale intervenant dans la fin de vie des matériaux de construction, phase qui, au sein de

l'analyse du cycle de vie, détermine elle-même une bonne partie des conséquences environnementales (Bertino et al., 2021 ; Sanchez et al., 2020).

Lorsqu'elle s'opère en mono-flux, après un tri sur chantier, elle participe à augmenter le recyclage de haute qualité et à éviter, par la même occasion, à la fois le décyclage et la mise en décharge (Gálvez-Martos et al., 2018 ; Ghisellini, Ripa, et al., 2018 ; Nußholz et al. 2019). En cela, la collecte des déchets C&D en mono-flux s'inscrit parfaitement dans la logique d'économie circulaire (Joensuu et al., 2020) et de minage urbain (Giorgi et al., 2022).

Dans les impératifs R, elle intervient donc en bas de la hiérarchie d'impact (Jansen et al., 2020 ; Reike et al., 2018), sur les déchets qui n'ont pu être ni tout bonnement évités, ni réduits, ni réutilisés. Notons à nouveau que le tri à la source permet d'augmenter non seulement le recyclage mais aussi la récupération d'énergie par incinération (Ghisellini, Ripa, et al., 2018), avant-dernière stratégie R.

Finalement, la collecte des déchets C&D en mono-flux s'inscrit dans la continuité de la déconstruction, étant donné que celle-ci s'accompagne d'une séparation des différentes fractions de déchets (Gálvez-Martos et al., 2018 ; Nußholz et al., 2019).

PARTIE II : RECHERCHE EMPIRIQUE

Chapitre 1 : Méthodologie

Notre stratégie de recherche s'est déroulée en deux phases distinctes, chacune ayant des objectifs spécifiques. La première phase a consisté en une recherche documentaire et la seconde en des entretiens semi-directifs auprès d'entreprises de collecte et de tri des déchets de démolition et construction.

1.1. Recherche documentaire

Nous avons donc commencé cette recherche empirique par une collecte de données au moyen d'une recherche documentaire. Celle-ci était en effet propice à une familiarisation avec la situation en Wallonie, une découverte de modes de collecte peu utilisés et une analyse comparative de coûts.

Cette recherche documentaire a poursuivi divers objectifs. Tout d'abord, elle nous a permis de **nous familiariser avec la situation spécifique du traitement des déchets en Wallonie**, ainsi qu'avec les usages les plus courants de collecte et tri des déchets C&D. Par la même occasion, nous avons pu mettre plus en lumière le fonctionnement des entreprises opérant cette collecte et ce tri, qui n'est, à notre connaissance, pas abordé dans la littérature scientifique.

Ensuite, cette recherche nous a permis de **découvrir les différents systèmes alternatifs de collecte de déchets C&D en mono-flux** débattus dans la littérature grise (rapports, descriptions techniques), éclairant ainsi notre deuxième question de recherche. Finalement, elle a rendu possible la **réalisation d'une analyse comparative des coûts et bénéfices d'un système de collecte en mono-flux de plâtre**, en comparaison avec le système tout venant, contribuant par cette occasion à éclairer notre troisième question de recherche.

Pour ce qui est de la méthodologie précise de collecte de données documentaires, celle-ci s'est faite de deux façons différentes. L'analyse de la situation wallonne et des systèmes alternatifs de collecte s'est faite principalement à travers la lecture de rapports issus d'organismes compétents. Citons à titre d'exemples l'ASBL Rotor, une coopérative qui étudie l'organisation de l'environnement matériel dans le secteur de la construction (Rotor ASBL, s.d.), ou Embuild Wallonie (anciennement Confédération Construction Wallonne) regroupement d'associations dont le but est de créer un réseau de partage et d'expertise en construction (Embuild, s.d.).

L'analyse comparative, quant à elle, s'est principalement basée sur un ensemble d'hypothèses et sur une recherche empirique d'informations « brutes », à l'aide d'une multitude de sites internet. En effet, étant donné que les informations recherchées (distances vers les usines belges de recyclage de plâtre, coût de l'essence, poids des véhicules, etc.) ne se trouvaient pas dans la littérature, cette recherche « brute » s'est avérée être la solution la plus appropriée.

Toujours concernant nos diverses hypothèses pour l'analyse des coûts et bénéfices, précisons à nouveau l'importance que les échanges avec Buildwise ont eue. Notre travail de recherche a par ailleurs fait l'objet d'une présentation à un panel d'experts de l'entreprise, ce qui a permis de directement valider ou invalider nos hypothèses de départ. La version présentée dans ce travail intègre les modifications suggérées par Buildwise.

1.2. Entretiens

La seconde phase de notre recherche empirique a consisté en une collecte de données par trois entretiens semi-directifs réalisés au sein d'entreprises de collecte, de tri, et de regroupement des déchets de construction et de démolition. Le guide d'entretien est retrouvable en Annexe 4, les retranscriptions en Annexe A, les caractéristiques des trois entreprises en Annexe 5, et une synthèse des entretiens, de leurs apports principaux, et des verbatims liés, en Annexe 6. Soulignons que les entreprises A et B adoptent une politique de tri fin, tandis que l'entreprise C ne pratique que le tri à la source.

L'objectif recherché par ces entretiens était double. Tout d'abord, **mettre en lumière le modèle d'affaires des entreprises de collecte et de tri de déchets C&D**, répondant à cette occasion à notre première question de recherche. Ensuite, ces interviews nous ont aussi permis de **confirmer ou réfuter les hypothèses posées durant la recherche documentaire**, confrontation discutée dans la section résultats, et d'apporter de la crédibilité aux éléments de réponses apportés aux questions de recherche deux et trois.

Notre choix de mode d'entretien s'est posé sur l'entretien semi-directif, une méthode très répandue d'enquête qualitative. Au travers d'une grille souple de questions ouvertes organisées par thème, il permet de collecter des informations précises tout en rendant compte du point de vue unique et de l'expérience de la personne interrogée (Imbert, 2010 ; Pin, 2023).

Précisons que notre étude qualitative s'est faite sur un échantillon qui se veut le plus représentatif possible. En effet, les trois entreprises interviewées opèrent sur des chantiers de

tailles différentes et ont des approches divergentes de gestion des déchets, offrant ainsi une vision diversifiée de la réalité du terrain (voir Annexe 5).

Après retranscription des entretiens, les textes furent analysés en suivant les principes du codage ouvert. Cette méthode, largement utilisée dans l'analyse de données qualitatives (Khandkar, 2009), consiste à générer une « théorie » créée par les participants à partir des données extraites de leurs entretiens (Blair, 2015). Plus concrètement, le codage ouvert permet de nommer et catégoriser les phénomènes après examen des données, en se basant sur des concepts issus de la littérature (Angot & Milano, 2005), que ce soit la littérature scientifique (comme dans notre partie théorique) ou grise (comme dans notre première partie empirique).

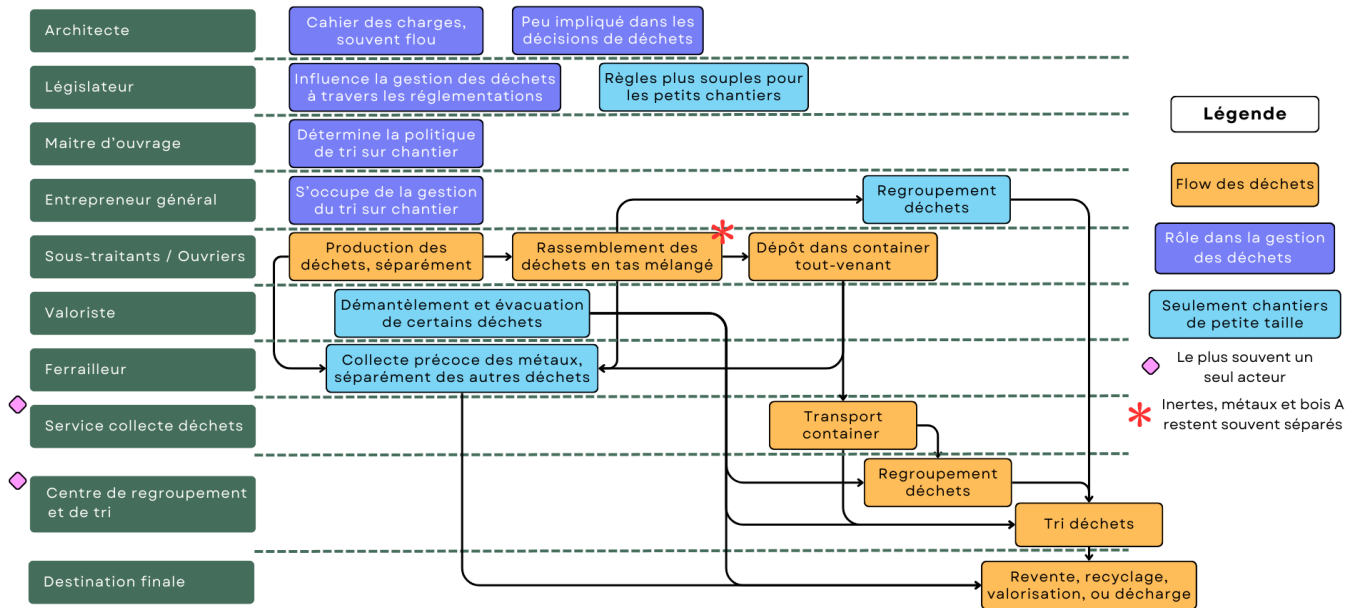
Chapitre 2 : Résultats

Ce chapitre est structuré en quatre sections, suivant la chronologie de notre recherche. En premier lieu, nous nous intéresserons au destin des déchets C&D en Wallonie. Nous décrirons ensuite les différents systèmes alternatifs ayant émergé de notre recherche documentaire, ainsi que leurs avantages et freins, avant de faire une analyse des coûts et du bénéfice d'un système alternatif en particulier. Nous concluons finalement ce chapitre en répondant à nos questions de recherche, grâce à l'ajout des données issues des entretiens.

2.1. Destin des déchets de construction et démolition en Wallonie

La flow chart présentée page suivante (Figure 1) illustre chaque étape de la chaîne logistique du traitement des déchets C&D, à travers le prisme de ses acteurs. La justification de la flow chart et sa version agrandie sont disponibles en Annexe 7, accompagnées d'une description des facilitateurs et freins au tri à la source. Le détail du rôle des acteurs est, quant à lui, retrouvable en Annexe 8.

Figure 1. Flow Chart des déchets C&D en Wallonie



Pour ce qui est du fonctionnement des entreprises de collecte et de tri des déchets C&D, elles opèrent principalement par location de containers, certaines autorisant les entreprises à amener directement leurs déchets (Le CERAA & Rotor, 2012). Les prix convenus avec les chantiers contiennent généralement la location du container, le transport et le traitement des déchets (Bauby et al., 2022 ; IBGE, 2009).

Une fois le container ramené au centre de tri, le camion le transportant est pesé. Le container est alors incliné et son contenu est déversé dans une première zone de tri, ce qui permet, en cas de mono-flux, d'évaluer rapidement l'homogénéité des déchets. Le camion est ensuite pesé à vide, permettant de calculer le poids du chargement, facturé en conséquences au client (De Cazenove & Vernus, 2011 ; Le CERAA & Rotor, 2012 ; Rotor, 2012).

Le système de tri varie d'un centre à l'autre mais, en général, un premier tri sommaire est effectué au sol, pour trier les déchets de plus grande taille. Le mélange restant subit ensuite un tri plus fin, mécaniquement et via des lignes de tri manuel. Une fois les fractions recherchées extraites, le résidu est alors incinéré (avec récupération d'énergie) ou, rarement, mis en décharge. Certains centres de tri se contentent d'extraire l'une ou l'autre fraction de déchets pour ensuite envoyer le résidu à un autre centre, qui se chargera du tri plus fin (idem).

2.2. Description des différents systèmes alternatifs au tout-venant

Les propositions et réflexions partagées dans cette section découlent de la lecture de divers rapports, d'échanges avec Buildwise, et de réflexions personnelles. Les différents systèmes alternatifs sont décrits succinctement dans le tableau ci-dessous, auquel succède un autre résumant leurs avantages, leurs freins, et ce dont ils ont respectivement besoin pour exister.

Une description plus détaillée des différents systèmes ainsi qu'une note sur l'existence de systèmes se rapprochant de la tournée du laitier sont présentées en Annexe 9.

Descriptions des systèmes alternatifs	
Tournée du laitier	Collecte des déchets C&D en faisant le tour de chantiers de petite taille afin de récupérer ces déchets en mono-flux, et de les emporter vers un centre de massification ⁷ . Un camion ne démarre que lorsque suffisamment de chantiers proches ont fait la demande de retrait. Une fois qu'il y a assez de déchets dans le centre, ils sont envoyés en filière de traitement.
Container mono-flux	Utilisation d'un container complet pour chaque flux de déchet produit. Les entreprises de collecte des déchets C&D peuvent se charger de directement amener les containers mono-flux dans les filières de traitement, sans passer par les centres de regroupement et de tri.
Container compartimenté	Ajout de segmentations dans un container « classique » afin de pouvoir garder les différents flux de déchets séparés. Chaque compartiment est amovible (containers plus petits dans un grand container) afin que ses déchets ne se mélangent pas à ceux des autres lors du déversement habituel à l'arrivée en centre de tri.
Hybride non-mélangé (container semi-mixte)	Container principal sur lequel, lors du transport, diverses fractions triées viennent se greffer (dans des contenants de moindre volume). <u>Exemple représentatif</u> : container d'inertes, fractions triées de gypse et de roofing dans des sacs, bois empilé. Pour la collecte, un système de manutention permet d'acheminer le tout vers un centre de tri.

⁷ Centre où chaque flux de déchets est rassemblé (« massifié ») jusqu'à atteindre un volume suffisant pour être envoyé aux filières de recyclage.

	Tournée du laitier	Container mono-flux	Container compartimenté	Container semi-mixte
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> • Permet de répondre à une demande assez importante liée à la production de déchets C&D par les particuliers et petits chantiers • Simple à mettre en place et à appliquer sur chantier • Entreprises de collecte et de tri peuvent facilement assurer la collecte et la massification • Diversité actuelle du parc de véhicules et des contenants permet d'augmenter les options de modalité pour la tournée 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversité du parc de véhicules et contenants permet aux containers mono-flux de prendre de nombreuses formes pour s'adapter aux chantiers • Système le plus simple à mettre en place (aucun besoin d'adaptation de législation et de fonctionnement des entreprises de collecte) • Permet de ne plus passer par un centre de tri, en amenant directement les containers dans les filières de traitement 	<ul style="list-style-type: none"> • Système qui ressemble le plus au tout-venant du point de vue de l'entrepreneur en démolition • Ne nécessite pas de réfléchir différemment l'espace de stockage des déchets sur les chantiers • Transport du container peut s'appuyer sur la large flotte existante 	<ul style="list-style-type: none"> • Ne demande pas plus d'efforts sur les chantiers • Les sacs transportés en manutention peuvent être les contenants provisoires⁸, très répandus sur chantiers • Ne change pas les relations entre acteurs du traitement des déchets C&D, peut donc être mieux reçu par ces derniers
Freins	<ul style="list-style-type: none"> • Obstacles liés à l'information et à la formation des travailleurs • Gestion séparée des flux sur chantier plus complexe • Report de la question du tri à un acteur extérieur vu favorablement par les acteurs du chantier 			
	<ul style="list-style-type: none"> • Se heurte aux pratiques en vigueur dans les centres de regroupement et de tri • Contrôle qualité • Logistique de planification 	<ul style="list-style-type: none"> • Possible uniquement sur des chantiers avec suffisamment de déchets et de place 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesage, déchargement, et tarification en centre de tri • Se heurte aux pratiques en vigueur dans les centres de regroupement et de tri 	<ul style="list-style-type: none"> • Imprévisibilité des flux produits sur chantier

	Tournée du laitier	Container mono-flux	Container compartimenté	Container semi-mixte
Freins (suite)		<ul style="list-style-type: none"> • Risque de déclassement le plus significatif (contamination par le voisinage) 	<ul style="list-style-type: none"> • Compartiments trop petits pour le transport de certains déchets • Ne s'adapte pas bien à la logique de « location éclair »⁹ • Risque de déclassement élevé Mauvaise répartition du poids sur remorque 	
Ce dont le système a besoin pour exister	<ul style="list-style-type: none"> • Évolutions des mentalités • Infrastructure de base 			
	<ul style="list-style-type: none"> • Grille de tarification en fonction de la qualité des déchets 		<ul style="list-style-type: none"> • Adaptation du pesage et de la tarification en centre de tri 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Logistique de planification de la tournée du laitier • Système d'identification simple des Big Bags (traçabilité & contenu) • Flotte de véhicules adaptés 	<p>Déjà utilisé sur certains chantiers de grande taille.</p> <p>Facteurs de démocratisation :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des coûts de location pour containers triés • Distinction tarifaire entre un container déclassé et un simple container mélange 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation, en centre de tri, d'un bras levier pour déplacer chaque compartiment • Flotte de contenants adaptés • Investissement considérable des centres 	<ul style="list-style-type: none"> • Création d'un nouveau statut « d'hybride non-mélangé » pour facturer ce type de chargement (avec tarification avantageuse) • Adaptation des méthodes de de (dé)chargement des containers

⁸ voir Annexe 7, p.77

⁹ Le container n'est loué que le temps d'être rempli de déchets C&D préalablement rassemblés en un point du chantier, pour réduire les frais de location et éviter la taxe d'occupation de voirie.

2.3. Analyse des coûts et du bénéfice d'un système alternatif

Afin d'offrir une approche plus concrète des systèmes que nous venons de détailler, nous avons analysé les coûts et le bénéfice qu'un de ces systèmes pouvait apporter pour la collecte et le traitement d'un flux, en comparaison avec le tout-venant. Notre choix s'est porté sur la tournée du laitier en Big Bags d'1m³, pour les déchets de plâtre. La justification de ce choix et l'explication de la situation de ces déchets en Wallonie se trouvent en Annexe 10 de ce travail.

2.3.1. Tournée du laitier

Commençons donc par étudier la collecte des déchets de plâtre en mono-flux, en utilisant le prisme de la tournée du laitier à l'aide de Big Bags d'1m³. Précisons que nous prenons le point de vue d'une entreprise de collecte de déchets possédant son propre centre de tri et de regroupement ainsi que sa propre flotte de véhicules et containers.

Le détail des calculs, avec une description précise des raisons pour lesquelles nos hypothèses ont été fixées, peut être trouvé en Annexe 11. Nous ne reprendrons ici qu'un résumé du calcul et des hypothèses attenantes à ce dernier. À noter que ces hypothèses ont été préalablement discutées avec Buildwise, et que les modifications en résultant ont été intégrées.

A) Coûts de la tournée

Avant toute chose, voici le calcul du coût total pour une tournée du laitier, en tablant sur une collecte de 6 Big Bags de déchets de plâtre par tournée (voir hypothèses ci-dessous) :

$$Coût_{total} = 6 * Coût_{production} + Coût_{livraison} + Coût_{collecte} + Coût_{traitement}$$

Notons que les coûts de livraison, collecte et traitement s'appliquent directement à une tournée de 6 sacs. Intéressons-nous en premier lieu aux coûts de production et de livraison des sacs au client, dans le chef de notre entreprise de collecte de déchets C&D.

Hypothèses coût de production et de livraison	
Hypothèse	Implication calcul
L'entreprise qui propose la simple vente de Big Bags s'octroie une marge de 15%	$Prix_{simple\ vente} \cong 1.15 \times Coût_{production}$
Prix de vente d'un Big Bag est de 10.29 €	$Coût_{production} \cong 8.95$
Entreprise fait reposer ces frais sur le client en passant par une entreprise de livraison	$Coût_{livraison} = 0$

Pour ce qui est du coût de collecte des Big Bags remplis voici la formule utilisée :

$$Coût_{collecte} = Coût_{salarial} + Coût_{carburant} + Coût_{logistique}$$

Commençons par poser nos hypothèses générales quant à cette tournée.

Hypothèses coût de collecte	
Hypothèse	Implication calcul
6 sacs par tournée du laitier (camion avec capacité de 8 Big Bags), récoltés en moyenne sur 4 chantiers	/
580 kg de déchets de plâtre par sac	/
Moyenne de 20 kms entre les chantiers et dernier chantier à 50 kms du centre de tri	130 kms par tournée du laitier
Moyenne de conduite de 70 km/h et temps sur chantier de 30 minutes par lieu	3.86 heures pour une tournée
Salaire moyen chauffeur poids : 17.6 € brut/heure, et cotisations patronales : 25 % de ce salaire brut	$Coût_{salarial} = 88$
Poids moyen du camion durant la tournée est de 19.2 tonnes, soit une consommation de 28.06 L/100km	Consommation de 36.48 litres de carburant par tournée
Prix du diesel : 1.82 €/litre	$Coût_{carburant} = 66.39$
Gestionnaire logistique : salaire de 12.9 €/heure, et 1h30 de travail par tournée du laitier	$Coût_{logistique} = 24.19$

En injectant ces différents coûts dans notre formule précédemment établie, on obtient :

$$Coût_{collecte} = 88 + 66.39 + 24.19 = \mathbf{178.58}$$

Pour ce qui est du coût de traitement, voici sa formule :

$$Coût_{traitement} = Coût_{salarial} + Coût_{déclassement} + \left(\frac{1}{4}\right) * (Coût_{t.v.u.} + Coût_{revente})$$

Notons que le transport vers l'usine (t.v.u.) n'est nécessaire que toutes les 4 tournées du laitier.

Hypothèses coût de traitement	
Hypothèse	Implication calcul
25% de Big Bags mal triés, dont 1/4 nécessitent d'être complètement déclassés	3262.5 kg de déchets de plâtre par tournée

Le surcoût dû au déclasserement est entièrement facturé au client	$Coût_{déclasserement} = 0$
Le tri d'un Big Bag dure en 20 minutes, et est fait par le conducteur et un ouvrier	2 heures de travail pour les 6 sacs de la tournée du laitier
Salaire ouvrier de tri est de 10.95 € / heure et salaire conducteur de 17.6 € / heure	$Coût_{salarial} = 71.38$ (cotisations patronales comprises)
14,000 kg de déchets de plâtre transportés en un trajet vers l'usine de recyclage	Transport vers l'usine (t.v.u.) n'est nécessaire que toutes les 4 tournées
Distance moyenne vers usine est de 125 kilomètres et prend 3.78 heures	$Coût_{transport\ vers\ usine} = 220.02$
Coût de revente à l'usine est de 45 € / tonne	$Coût_{revente} = 630$ (14 T)

En injectant ces différents coûts dans notre calcul précédemment établi, on obtient :

$$Coût_{traitement} = 71.38 + 0 + \left(\frac{1}{4}\right) * (220.02 + 630) = \mathbf{283.89}$$

Nous pouvons alors calculer le coût total pour une tournée du laitier de 6 Big Bags de plâtre :

$$Coût_{total} = 6 * Coût_{production} + Coût_{livraison} + Coût_{collecte} + Coût_{traitement}$$

$$Coût_{total} = 6 * 8.95 + 0 + 178.58 + 283.89 = 516.17 \text{ (et } Coût_{BigBag} = 86.02 \text{ €)}$$

$Coût_{par\ tonne} = 148.31 \text{ €}$
--

B) Bénéfice de la tournée

$$Bénéfice_{tournée} = Vente_{big\ bags} - Coût_{total}$$

En nous basant sur un prix de vente de 82.64 € HTVA (voir Annexe 11) et en retirant les coûts de collecte et de livraison (portés par le client), nous obtenons alors :

$$Bénéfice_{tournée} = 6 * 82.64 - (516.17 - 178.58) = 158.25$$

Soit un bénéfice de 26.37 € par Big Bag (580kg), ou encore :

$Bénéfice_{par\ tonne} = 45.47 \text{ €}$

Ce propos est tout de même à nuancer étant donné que les coûts pour l'achat des actifs n'ont pas été pris en compte. Ces coûts représentent des investissements certes élevés mais à amortir sur des années et donc sur des centaines voire des milliers de tournées du laitier.

C) **Coût pour le client** (chantier de démolition)

$$Coût_{client\ 1BB} = Coût_{achat\ BB} + Coût_{livraison} + \left(\frac{1}{6}\right) * Coût_{collecte}$$

Avec un coût de livraison moyen de 15.85 € HTVA pour 20 sacs (voir Annexe 11), nous obtenons :

$$Coût_{client\ 1BB} = 82.64^{10} + \left(\frac{1}{20}\right) * 15.85 + \left(\frac{1}{6}\right) * 178.58 = 113.2$$

En rajoutant une Taxe sur la Valeur Ajoutée de 21%, nous obtenons un coût final à payer de 136.97 €, pour la collecte d'1m³ (soit 580 kg) de déchets de plâtre, soit :

<i>Coût client</i> par tonne = 236.16 €
--

2.3.2. Tout-venant

Intéressons-nous maintenant au recyclage du plâtre dans la situation la plus courante en l'état actuel de la filière de collecte des déchets de démolition, où il finit avec quantité d'autres déchets mélangés dans un container de 12m³. Notons que, dans notre optique de comparaison avec la tournée du laitier, nous regarderons uniquement les coûts et bénéfices du flux de plâtre, quand bien même il est ici initialement mélangé à d'autres déchets C&D. Le détail précis des calculs et hypothèses est à trouver en Annexe 12.

A) Coûts

$$Coût_{total} = Coût_{livraison} + Coût_{collecte} + Coût_{traitement}$$

Résumons à nouveau nos hypothèses, en commençant par le coût de livraison :

$$Coût_{livraison} = Coût_{carburant} + Coût_{salarial} + Coût_{logistique}$$

Hypothèses coût de livraison	
Hypothèse	Implication calcul
Poids à vide camion + container (12m ³) = 14T, chantier en moyenne à 30 kms du centre	$Coût_{carburant} = 28.76$
Temps de livraison : 1h36 (30 minutes sur place et 70 km/h pour le trajet)	$Coût_{salarial} = 29.92$
Organisation logistique : 30min/livraison	$Coût_{logistique} = 8.06$

De là, il vient que : $Coût_{livraison} = 28.76 + 29.92 + 8.06 = 66.74$

¹⁰ Prix hors livraison et hors collecte, tel qu'affiché sur advancegreenshop.be (voir Annexe 11)

Le coût de collecte suit le même calcul, en comptant 2.5 tonnes de déchets supplémentaires (voir hypothèses coût de traitement) à transporter, augmentant alors la consommation de carburant :

$$Coût_{collecte} = 29.15 + 29.92 + 8.06 = \mathbf{67.13}$$

Calculons maintenant le coût de traitement, dont voici la formule :

$$Coût_{traitement\ plâtre} = Coût_{tri} + \left(\frac{1}{163.3}\right) * (Coût_{t.v.u.} + Coût_{revente})$$

Hypothèses coût de traitement	
Hypothèse	Implication calcul
Container (12m ³) contient 2.5T de déchets C&D, dont 2.43% en masse de plâtre	/
50% des déchets inertes, de bois et métaux en container mixte (meilleur tri en amont)	La fraction des déchets de plâtre dans ces containers n'est pas de 2.43% mais de 3.81%
90% des déchets de plâtre des containers mixtes sont triés pour recyclage ¹¹	Recyclage de 85.73 kg de déchets de plâtre par container tout-venant
Deux hypothèses (H) différentes pour approximer le coût de tri	
H1 : deux employés et un rythme de tri d'un mètre cube par heure	$Coût_{tri} = 328.56$ (pour un container de 12 m ³)
H2 : partir du prix indiqué par un centre de tri, et lui déduire 30% (marge de l'entreprise)	$Coût_{tri} = 355.78$ (pour un container de 12 m ³)
Moyenne H1-H2 : 342.17 €/container, dont 3.81% sont imputables aux déchets de plâtre	$Coût_{tri\ 86kg\ plâtre} = 342.17 * 0.0381$ $= 13.04$
Mêmes coûts de transport vers usine (t.v.u.) et de revente que dans la tournée du laitier ¹²	$Coût_{t.v.u.} + Coût_{revente} = 220.02 + 630^{13}$

On obtient donc, pour un container tout-venant de 12m³ (soit 85.73 kg de déchets de plâtre) :

$$Coût_{traitement\ plâtre} = 13.04 + \left(\frac{1}{163.3}\right) * (220.02 + 630) = \mathbf{18.25}$$

Nous pouvons dès-lors calculer le coût total pour la fraction des déchets de plâtre dans un container tout-venant (en ramenant les coûts de livraison et de collecte à la fraction de plâtre).

¹¹ Très optimiste, en réalité la majorité des déchets de plâtre est incinérée

¹² Coûts de transport vers l'usine de recyclage et coût de revente des déchets de plâtre, voir page 34

¹³ pour 14T, à diviser par 163.3 pour obtenir le coût pour un seul container de 12m³

$$Coût_{total\ 86\ kg\ plâtre} = 0.0381 * (Coût_{livraison} + Coût_{collecte}) + Coût_{traitement}$$

$$Coût_{total\ 86\ kg\ plâtre} = 0.0381 * (66.74 + 67.13) + 18.25 = \mathbf{23.35}$$

Soit un coût de 157.97 pour 580 kg de déchets de plâtre (= un Big Bag en mono-flux) ou :

$Coût_{par\ tonne} = \mathbf{272.36\ €}$
--

En comparaison avec le coût de 148.31 €/T calculé pour **la tournée du laitier**, nous avons donc ici un **coût 1.84 fois plus élevé** dans le chef de l'entreprise de collecte et de tri des déchets.

B) Bénéfice

$$Bénéfice_{plâtre} = Fraction_{plâtre} * Prix_{container} - Coût_{traitement\ plâtre}$$

En reprenant cette formule ainsi que les prix affichés par trois entreprises (voir Annexe 12), nous obtenons des bénéfices respectivement de 0.11 €, 0.37 € et 1.40 € par container mixte, pour le recyclage du plâtre. Ces différents exemples illustrent que, comme attendu, ce n'est pas grâce à la fraction de déchets de plâtre que les containers tout-venant représentent un bénéfice pour l'entreprise. De façon plus surprenante, cette fraction ne semble pas non plus amener une perte, malgré son coût de revente aux usines de recyclage.










2.4. Réponses aux questions de recherche au vu des entretiens

a. Quel est le business model des entreprises de location de containers tout-venant et de tri des déchets de construction et démolition et comment sont-elles si avantageuses économiquement ?

Comme justifié précédemment, nous utiliserons le BMC pour clarifier le modèle d'affaires de ces entreprises. Ce dernier est présenté à la page suivante (Figure 2), tandis que sa justification, agrémentée de verbatims, est détaillée en Annexe 13. De plus, une version agrandie du BMC est disponible en Annexe 14.

Nos interviews nous ont grandement éclairé sur le mode de fonctionnement de ces entreprises et sur les raisons de leur prospérité économique. Sur base de ces apprentissages, nous identifions que le Business Model du système actuel relève principalement de deux facteurs : la différence entre le prix payé par les clients et celui à payer aux filières finales (certains matériaux pouvant même se revendre), et la performance des lignes de tri. Une explication plus détaillée de ces facteurs est disponible en Annexe 15.

Figure 2. Business Model Canvas – Entreprise de collecte et de tri des déchets C&D

Partenaires Clés  <ul style="list-style-type: none"> • Filières de recyclage, une (ou plusieurs) par flux de déchets • Centres de valorisation énergétique, pour le résidu des lignes de tri • Clients, qui agissent aussi en tant que fournisseurs de ressources pour l'entreprise • Législateur, dont les politiques auront une influence sur l'entreprise. Celle-ci peut aussi agir comme conseillère pour éclairer sur les mesures utiles 	Activités Clés  <ul style="list-style-type: none"> • Location de containers (comprend livraison, collecte & logistique) • Séparation des flux de déchets • Envoi des flux séparés vers les filières de recyclage adaptées • Envoi du résidu vers les centres de valorisation énergétique Ressources Clés  Ressources physiques : <ul style="list-style-type: none"> • Flotte de véhicules et contenants • Centre de tri avec espaces de stockage, lignes de tri et locaux pour le personnel Ressources humaines : <ul style="list-style-type: none"> • Conducteurs de camion, ouvriers de tri, gestionnaires logistique 	Propositions de Valeur  <ul style="list-style-type: none"> • Gestion des déchets C&D de l'entreprise de démolition : pose, location, et retrait des containers, ainsi que tri et envoi vers filières finales • Expertise quant aux règles en vigueur pour le tri des déchets sur chantier & à la façon optimale de le réaliser • Pour les entreprises de démolition de grande envergure : contrats cadres leur permettant de jouir de prix plus bas 	Relations avec les Clients  <ul style="list-style-type: none"> • Entreprises de démolition : réactivité, flexibilité, respect des normes. Si grande taille : collaboration plus étroite, marge plus faible mais grande quantité de déchets • Centres de tri et entreprises de location de containers : collaboration étroite, ristournes, respect des normes Canaux de Distribution  <ul style="list-style-type: none"> • Camions Ampliroll pour les containers classiques (10, 12, 20 mètres cubes) vers/depuis chantiers ou vers filières finales • Camions-grues si Big Bags • Camions hayons si déchets alimentaires, légers, ou dangereux • Camions poubelles si containers à roulettes 	Segments de Clientèle  Marché segmenté : <ul style="list-style-type: none"> • Entreprises de démolition, séparées en deux segments : <ul style="list-style-type: none"> • Petits entrepreneurs et PME, fonctionnant location par location • Entreprises de grande envergure, fonctionnant par contrats cadres • Centres de tri et de regroupement opérant un tri plus superficiel • Entreprises de location de containers, ne possédant pas leur propre centre de tri
Structure des Coûts  <ul style="list-style-type: none"> • Coûts fixes : Salaires, loyers, acquisition et maintenance flotte de véhicules et de contenants, acquisition/construction et entretien du centre de tri, marketing • Coûts variables : électricité, essence, revente des déchets aux filières finales, adaptation aux nouvelles règles et aux demandes des clients • Modèle économique orienté vers les coûts, avec importantes économies d'échelle • Activités les plus coûteuses : fonctionnement du centre de tri, revente aux filières finales, (transport dans les zones les moins densément peuplées) 		Sources de Revenus  <ul style="list-style-type: none"> • Location de containers (ou autres contenants) & reprise des déchets d'entreprises de location de containers et de centres de tri : prix fixes dépendant du déchet, du segment de clientèle, du volume, et du temps de location : source de revenus la plus importante • Revente de matériaux à valeur positive (métaux, bois non traité, carton, frigolites, etc.) : contribution plus limitée 		

b. Quels sont les systèmes alternatifs au tout-venant ? Quels avantages apportent-ils et quels freins existe-t-il par rapport à leur utilisation ?

Les différents systèmes alternatifs au tout-venant ont été décrits dans la section 2.2 de la partie II de notre travail (voir p. 29-31). Nos échanges avec les entreprises interviewées nous ont toutefois apporté de nouveaux éléments nous permettant alors d'amender notre premier tableau des avantages & freins. Le tableau final est disponible en Annexe 16. Les ajouts que nous ont permis les entretiens y sont notés en vert.

Quels sont-ils ? Tout d'abord, la tournée du laitier a été discutée en profondeur avec les différentes entreprises. Un point sur lequel l'entreprise B a insisté est le problème de densité des chantiers : « Dans les zones rurales dans lesquelles nous on travaille ici, ça n'a pas de sens de se déplacer [pour un ou deux Big Bags de l'heure] ».

En effet, dans une région peu dense, les distances entre chantiers augmentent et il devient alors plus compliqué d'effectuer une tournée du laitier rentable, à cause du coût du transport. De plus, si peu de chantiers participent à la tournée du laitier, le temps d'attente pour l'enlèvement de leurs contenants est augmenté, encombrant alors le chantier de ces entrepreneurs.

L'entreprise B nous rappelle aussi que les contenants de petite taille utilisés dans la tournée du laitier auront un problème similaire aux containers compartimentés : les déchets de grande taille ne pouvant être collectés efficacement. Soulignons tout de même que s'ils ne sont présents qu'en faible quantité, il ne devrait pas être compliqué de les transporter à côté des contenants, notamment dans le cas de l'utilisation d'un camion-grue.

L'identification du contenu et la traçabilité des petits contenants n'ont pas été identifiées comme problématiques par les entreprises de collecte des déchets C&D, tandis que, dans nos échanges avec Buildwise, nous les avons considérées comme telles. Les entreprises soulignent en effet que lors d'une tournée dans un nombre limité de chantiers, il est aisé de se rappeler l'origine des contenants, ces derniers étant répartis à l'arrière du camion en fonction de leur chantier respectif : « Ce n'est pas très compliqué, quand on a visité 3-4 chantiers, de se rappeler dans quelle partie du camion on a mis chaque flux de déchets ».

D'autres entreprises utilisent des systèmes d'étiquettes à scanner afin de retrouver efficacement les informations utiles : « Avec le numéro unique du Big bag, on sait à qui on l'a vendu, on sait où, sur quel chantier il s'est retrouvé, et quel jour il a été enlevé ».

Ensuite, nos entretiens nous ont aussi permis de mieux comprendre la façon dont le déclassé prend lieu et son impact réel sur le mélange des déchets C&D, informations absentes de notre recherche documentaire. Les entreprises nous ont indiqué que ce dernier était en réalité rare (« moins de 5% de tous les conteneurs ») et que les tarifs de déclassé appliqués étaient proportionnels à la quantité de déchets mélangés.

La lourdeur de l'investissement nécessaire en cas d'adoption des containers compartimentés a aussi été soulevée par l'entreprise A, étant donné qu'il serait nécessaire d'avoir une flotte de contenants suffisante pour opérer des échanges sur les différents chantiers. Finalement, notons également que l'entreprise A utilise actuellement le système de container semi-mixte, bien qu'elle ne le désigne pas par ce terme et ne lui accorde pas de statut spécifique : « Ça on le fait déjà, surtout pour les entrepreneurs en toiture. En fait, ils nous commandent des conteneurs de 10 m³ dans lequel ils mettent les tuiles et par-dessus, ils mettent tout ce qui est [...] bois, etc. ». Le container est alors facturé au client proportionnellement aux différentes fractions triées.

C. Quels sont les coûts et bénéfices associés à la collecte et au tri des déchets de plâtre, en comparant un système de mono-flux avec le tout-venant, du point de vue de l'entreprise de collecte et de tri des déchets ?

Nos entretiens avec les entreprises de collecte et de tri des déchets C&D nous ont permis de confronter nos différentes hypothèses à la réalité du terrain, concernant les coûts de la tournée du laitier (camion-grue faisant la tournée des chantiers pour y récupérer les déchets de plâtre en Big Bags) et du tout-venant (voir p.32-37). Nombre de ces hypothèses ont été validées mais certaines demandent à être changées. Revenons succinctement sur ces dernières, les justifications précises se trouvant en Annexe 17 de ce travail, tandis que le détail des implications sur les calculs est disponible en Annexe 18.

Anciennes hypothèses	Nouvelles hypothèses
Tournée du laitier	
6 Big Bags par tournée	8 Big Bags par tournée
3.78 heures par tournée et 130 kilomètres	5h20 par tournée et 198 kms
25% de Big Bags mal triés, dont 1/4 nécessitent d'être complètement déclassés	5% de Big Bags mal triés, dont la moitié sera complètement déclassée
Distance moyenne vers l'usine de recyclage la plus proche est de 125.2 kilomètres	Pas de tournée dans le Luxembourg, nouvelle distance moyenne de 97.25 kms
Coût de revente des déchets de plâtre : 45 €/tonne (qualité supérieure)	Coût de revente : 55 €/tonne (mélange entre qualité supérieure et moyenne)
Tout-venant	
Tri à la source de 50% pour les inertes, métaux, et bois	Tri à la source de 75% pour les métaux et de 30 % pour les inertes et le bois
Évaluation du coût de tri d'un container mixte à partir du prix indiqué par un centre de tri : 342.17 €/container	Évaluation par vitesse de tri, nombre d'ouvriers, et consommation d'électricité : 229.64 €/container

In fine, ces modifications nous permettent d'obtenir les résultats suivants, pour les déchets de plâtre, et dans le chef d'une entreprise de collecte et tri des déchets :

Tournée du laitier		
<i>Coût</i> _{par tonne} = 160.03 €	<i>Bénéfice</i> _{par tonne} = 39.74 €	<i>Coût</i> _{pour le client, par tonne} = 237.33 €

Tout-venant		
<i>Coût</i> _{par tonne} = 229.02 €	<i>Bénéfice</i> _{par tonne} = 50.55 €	<i>Coût</i> _{pour le client, par tonne} = 338.38 €

À première vue, les chiffres du bénéfice peuvent paraître défavorables à la tournée du laitier. Cependant, ce chiffre par tonne n'est que le reflet des plus grandes dépenses du tout-venant. **Les coûts et sommes en jeu étant plus élevées, quand bien même la marge est plus basse, le bénéfice sera tout de même plus élevé.** Le plus intéressant est alors de calculer le retour sur investissement (ou ROI pour Return On Investment), ratio entre bénéfice et coût, qui représente le rendement de l'investissement initial (Delemarle, 2024).

En effet, le ROI de la tournée du laitier est de 24.83%, contre 22.07% pour la collecte en tout-venant. La tournée est donc l'investissement le plus rentable, non seulement pour l'entreprise de collecte, mais aussi pour le client, qui payera près de 30% en moins pour une collecte en Big Bags que pour la même masse de déchets de plâtre mélangée dans un container mixte.

Soulignons de plus que nous n'avons pas inclus le coût de l'achat des actifs dans nos calculs, nettement plus élevé pour le système tout-venant, qui nécessite l'acquisition d'un centre de tri complet, en plus de la flotte de véhicules et de contenants.

PARTIE III : DISCUSSION ET CONCLUSION

Chapitre 1 : Dialogue entre théorie et pratique

En premier lieu, notre recherche documentaire a démontré que la gestion des déchets de démolition répondait bien aux critères de chaîne logistique inverse décrits dans notre revue de littérature, que ce soit par la complexité des relations entre acteurs ou au travers des destinations changeantes de fin de vie des déchets (Dhib, 2017), qui peuvent être réutilisés, recyclés, ou valorisés.

Dans nos différentes lectures, les articles scientifiques s'accordaient à dire que l'économie circulaire gagnait du terrain et devenait une option de plus en plus sérieuse (Ossio et al., 2023 ; Pomponi & Moncaster, 2017 ; Geissdoerfer et al., 2017). Les propos recueillis dans nos différents entretiens vont dans la même direction : les déchets non-dangereux ne finissent plus en décharge, le recyclage prend de plus en plus de place face à la valorisation énergétique, et le tri à la source et la déconstruction se répandent petit à petit.

Comme vu dans notre partie théorique, bien que le recyclage soit en huitième position dans la hiérarchie des dix stratégies R (Jansen et al., 2020 ; Reike et al., 2018), il continue de représenter l'étape la plus en vogue dans les politiques et articles scientifiques (Panchal et al., 2021). De plus, le tri hors site et l'incinération sont considérés comme les stratégies les plus adoptées (Bovea & Powell, 2016). Ces tendances sont confirmées par nos interviews.

Les entreprises A et B, tout à fait représentatives des entreprises de collecte et de tri de déchets C&D, sont d'ailleurs dans cette optique de tri hors site et d'incinération d'une bonne partie de ces déchets. L'entreprise C, proposant pourtant un business model différent de la norme, autour du tri sur chantier et du réemploi (stratégie R plus haute), admet ne pas pouvoir actuellement se passer du recyclage, bien qu'elle veuille tendre vers cet idéal.

Les deux impératifs R plus bas que le recyclage sont la récupération d'énergie et la ré-exploitation, aussi appelée minage de décharge, soit l'extraction de matériaux à partir des décharges (Krook et al., 2012). Tandis que la valorisation énergétique est bel et bien pratiquée en aval du recyclage (le résidu des lignes de tri étant incinéré avec récupération d'énergie), il ressort de nos entretiens que le minage de décharge n'a pas lieu d'exister étant donné qu'en dehors des déchets dangereux, plus aucun déchet C&D ne finit enfoui en décharge en Wallonie.

La littérature insistait pourtant abondamment sur la place finale de la mise en décharge (Arm et al., 2014 ; Bai & Sutanto, 2002 ; Di Maria et al., 2018 ; Pantini & Rigamonti, 2020), la législation européenne obligeant par ailleurs à un taux combiné de réutilisation, recyclage, et valorisation de 70% des déchets (Parlement Européen, 2008 ; Ramos et al., 2024).

Un aspect des pratiques de recyclage relevé par la littérature est qu'elles s'accompagnent souvent de décyclage, cette perte de qualité des matériaux recyclés (Di Maria et al., 2018 ; Helbig et al., 2022). Ce point a aussi été soulevé par l'entreprise C au cours de notre entretien, insistant qu'il fallait alors s'orienter vers le réemploi dès que possible. Ce dernier, aussi nommé réutilisation, agit bien plus en amont dans la hiérarchie des dix R, où il est alors troisième, derrière le refus et la réduction de production de déchets (Jansen et al., 2020 ; Reike et al., 2018).

On voit donc que les différentes stratégies de fin de vie des matériaux, dernière étape étudiée dans l'analyse du cycle de vie (Bertino et al., 2021 ; Sanchez et al., 2020), que nous avons découvertes à travers notre revue de littérature, sont effectivement appliquées dans la gestion wallonne des déchets C&D.

Tant la littérature que nos interviews soulignent que la déconstruction, pratique permettant un haut taux de réutilisation, reste une stratégie peu répandue sur les chantiers (Nußholz et al., 2019). La littérature nous indique d'ailleurs que cette pratique n'est pas possible sur tous les chantiers (Coelho & De Brito, 2011 ; Pantini & Rigamonti, 2020). La même idée ressort de notre entretien avec l'entreprise C, qui n'arrive pour l'instant pas à dégager un bénéfice par la revente de matériaux, misant cependant sur une évolution de la situation dans le futur.

Un autre point sur lequel articles scientifiques et entretiens de terrain se rejoignent porte d'ailleurs sur l'importance de l'évolution des mentalités et de la motivation des parties prenantes du chantier afin d'arriver à un plus grand tri à la source (Ghisellini, Ji, et al., 2018 ; Ramos et al., 2024). Rappelons encore ici que l'impact des réglementations est considéré comme crucial pour le développement des pratiques de tri en amont (Poon et al., 2001), tandis que le transport a un rôle prépondérant dans le bilan écologique de la fin de vie des matériaux (Bovea & Powell, 2016 ; Brambilla et al., 2019 ; Ruiz et al., 2020).

Ces différents éléments ont également été discutés durant nos entretiens. L'entreprise B a un avis mitigé sur la collecte en mono-flux, indiquant que cette dernière, poussée par les

réglementations politiques, peut parfois mener à une démultiplication de la logistique, et donc à une augmentation du coût de transport. Elle souligne, de plus, que les lignes de tri permettent une séparation efficace des matières, réduisant alors la nécessité d'un tri en amont.

Cet avis rejoint d'ailleurs ce que l'entreprise A dit sur son centre de tri, à savoir qu'il est fait pour les déchets mélangés, qui lui permettent de dégager une plus grande marge. Pour ce qui est des réglementations, l'entreprise A nous indique que, ces dernières années, les certifications et la multiplication des contrôles sur chantiers ont mené à une adoption plus large du tri à la source. L'entreprise B soutient également que ce tri à la source se répand de plus en plus, principalement parce qu'il coûte moins cher aux entrepreneurs. L'entreprise C, quant à elle, indique que l'immobilisme réglementaire est un problème majeur et qu'il mène actuellement au décyclage.

Notons que, dans la littérature grise, le coût du tri à la source est principalement identifié comme représentant un frein plutôt qu'un facilitateur du mono-flux, qui nécessite plus de main-d'œuvre et du temps supplémentaire (Bauby et al., 2022 ; CSTC, 2019 ; Le CERAA & Rotor, 2012).

En dernier lieu, notre recherche documentaire nous a permis de mettre en lumière le rôle prépondérant des contenants provisoires sur chantiers, réels facilitateurs du tri à la source (Le CERAA & Rotor, 2012 ; Rotor, 2012), qui ne sont pourtant pas abordés dans la littérature scientifique. **Le rôle et la façon de procéder des entreprises de collecte et tri des déchets C&D, tout autant passés sous silence dans la littérature, ont aussi été bien plus explorés,** tant à travers notre recherche documentaire que nos interviews.

Chapitre 2 : Conclusion

Dans la section précédente, nous sommes revenus sur le dialogue entre la théorie et nos observations pratiques. De celui-ci émergent diverses conclusions qui forment alors notre contribution à la littérature scientifique.

2.1. Contributions théoriques

Notons avant toute chose que, sur de nombreux sujets, la pratique du tri en Wallonie s'aligne avec la littérature scientifique. Toutes deux soulignent l'importance des réglementations (tant européennes que régionales), les différentes stratégies de fin de vie des matériaux, dont le tri

hors chantier et la valorisation énergétique représentent la norme, ainsi que la difficulté de l'implémentation de la réutilisation pour les déchets de construction et de démolition, malgré que la pratique du tri à la source se répande petit à petit.

Notre **principale contribution à la théorie** est de **venir combler certaines de ses lacunes concernant la pratique du tri à la source**. En effet, bien que cette dernière soit discutée dans de nombreux articles et que diverses pratiques de démolition permettant la circularité des déchets C&D soient analysées, certains points restent absents de la littérature scientifique.

En premier lieu, le rôle des contenants et de la collecte des déchets dans le tri sur chantier sont relativement passés sous silence dans la théorie, cette dernière étant tout au plus évoquée comme essentiellement créatrice de pollution par ses distances de transport. Or, le tri en simples containers mono-flux, tel que sous-entendu dans la littérature scientifique, n'est possible que sur certains chantiers produisant suffisamment de déchets et ayant la place nécessaire sur chantier pour installer ces containers.

Il est donc essentiel que d'autres solutions de collecte en mono-flux existent afin de permettre à tout chantier de pouvoir effectuer un tri à la source, rendu inefficace si il n'y a pas d'offres de collecte adaptées. Notre travail s'est alors attelé à décrire ces systèmes de collecte alternatifs ainsi qu'à examiner leurs avantages et freins, qu'il est indispensable de connaître pour tout projet visant à les implémenter.

Divers articles théoriques insistent de plus sur l'importance de la motivation des entreprises de démolition, et plus largement de tout ouvrier présent sur le chantier, dans les pratiques de tri à la source. Nous ajoutons donc à celle-ci la motivation des entreprises de collecte et de tri des déchets C&D. En effet, ces dernières représentent le point de passage obligatoire pour tout déchet de démolition en Wallonie, où il faut être agréé pour le transport d'importants volumes de déchets C&D, et où les chantiers ne sont pas en contact direct avec les filières de recyclage et de valorisation énergétique. Une réelle implémentation du tri à la source ne saurait dès lors se faire sans impliquer ces acteurs centraux du tri des déchets.

Un **autre point essentiel pourtant oublié de la théorie scientifique** est **l'utilisation des contenants provisoires sur les chantiers**. En effet, bien que certains articles mentionnent que la production des déchets est indicatrice de la phase du chantier, ils omettent de mentionner que, sur la majorité des chantiers de démolition, les déchets produits sont temporairement

stockés dans des contenants, évitant ainsi tout mélange qui viendrait compromettre leur homogénéité. Nous identifions l'existence de ces contenants provisoires comme un facilitateur majeur du tri à la source.

En dernier lieu, **la littérature scientifique insiste sur la nécessité de diminuer les pratiques de mise en décharge et discute abondamment des moyens d'y arriver. Or, selon les témoignages recueillis par nos entretiens, aucun des déchets non-dangereux en provenance des entreprises de collecte et de tri des déchets C&D ne termine en décharge.** Il se peut alors que l'évolution de la situation ces dernières années ait rendu de telles discussions obsolètes, et que ces déchets ne finissent tout simplement plus en décharge. Il est aussi possible que les déchets enfouis en Wallonie échappent au contrôle de la filière ou proviennent d'autres pays.

2.2. Apports et recommandations managériales

En répondant à nos trois questions de recherche, nous avons pu mettre en lumière de multiples éléments. Tout d'abord, par l'utilisation du Business Model Canvas, nous avons pu décrire de manière représentée et globale le modèle d'affaires des entreprises de collecte et de tri des déchets de démolition et construction (voir Figure 2, p.38). Cela nous a aussi permis de mettre en évidence les raisons de leur prospérité économique.

Le facteur principal est l'écart significatif entre le prix payé par les entreprises de démolition et le prix à payer par le centre de tri aux filières finales, y compris pour la revente des déchets destinés à la valorisation énergétique. Ensuite, il y a le prix de revente positif de certains matériaux tels que le bois non traité ou les métaux. Et, finalement, la performance des lignes de tri est à souligner, que ce soit en termes de vitesse ou de qualité de séparation des déchets.

Nous avons ensuite décrit et étudié quatre systèmes alternatifs au tout-venant, à savoir la tournée du laitier, le container compartimenté, le container mono-flux, et le container semi-mixte. De nombreux systèmes ressemblant à la tournée du laitier se développent actuellement, tandis que les containers mono-flux sont utilisés sur quantité de grands chantiers, et que certains centres de tri concluent des accords à l'amiable avec les entrepreneurs en démolition pour une tarification adaptée aux containers semi-mixtes.

Il n'y a au final que les containers compartimentés qui semblent ne connaître aucune implémentation actuelle, malgré les discussions dont ils font l'objet. Ces derniers posent en

effet divers problèmes majeurs tels que le déchargement inadapté en centre de tri et la mauvaise répartition du poids lors du transport.

Pour conclure, nous avons analysé les coûts et bénéfices de la tournée du laitier en Big Bags d'1m³ pour les déchets de plâtre, en comparaison avec le système tout-venant. Cette analyse nous a permis non seulement de démontrer que les coûts à la tonne étaient moins élevés, tant pour l'entreprise de collecte que pour son client, mais aussi que le retour sur investissement d'un tel système alternatif était plus élevé que pour le tout-venant. Nos résultats ne démontrent ainsi pas uniquement la viabilité de la tournée du laitier, mais également son attractivité économique.

Sur base de nos résultats, nous suggérons quatre recommandations managériales principales. La première est bien entendu **l'adoption de systèmes alternatifs de collecte en mono-flux** des déchets de construction et de démolition. Parmi ceux discutés dans notre travail, nous soulignons particulièrement l'attractivité de la tournée du laitier en Big Bags, dont nous avons démontré l'intérêt économique, et du container semi-mixte, système de collecte en mono-flux le plus proche du tout-venant.

Notre deuxième recommandation est un **appel aux entreprises de collecte et de tri afin qu'elles se fassent les premières voix du tri à la source**. C'est-à-dire non seulement proposer des systèmes alternatifs de collecte, mais en faire la promotion active, afin qu'ils puissent se démocratiser et se développer plus encore.

Cette situation est alors gagnante pour tous : de plus gros volumes de déchets sont recyclés plutôt qu'incinérés, et le coût est à la fois plus bas pour les entreprises de démolition et pour celles de collecte, qui peuvent amener directement les flux triés vers les filières finales (ce que les entreprises de démolition ne peuvent faire en Wallonie, étant donné qu'il faut être agréé pour cela).

Ensuite, nous encourageons les centres de tri à **améliorer la performance de leurs lignes de tri**. L'entreprise A et son nouveau centre de tri, où seuls 20% des déchets terminent incinérés contre 60% précédemment, est un exemple criant que ce changement est à la fois essentiel et réalisable. La gestion des déchets C&D est un problème complexe, et nous ne devons pas tomber dans la caricature de considérer la collecte en mono-flux comme la solution miracle pour obtenir une économie circulaire dans le secteur de la construction.

Dès lors, nous recommandons finalement aux entreprises de collecte et de tri des déchets C&D de **se diversifier en incorporant des activités de réemploi dans leurs opérations**. Nous sommes en effet convaincus que cette stratégie est plus enviable que le recyclage, encore souvent associé à du décyclage, et qu'elle représente le futur de la gestion des déchets C&D.

Notons que l'adoption des systèmes alternatifs de collecte et du réemploi ne saurait se répandre sans une évolution du cadre législatif. Il faut en effet rendre plus attractives ces solutions, que ce soit par des aides financières au réemploi (qui peine à être rentable en Wallonie) ou par un durcissement des règles vis-à-vis du tri sur chantier. Nous laissons aux instances étatiques la tâche d'élaborer ces politiques complexes, mais soulignons que les spécificités des différentes provinces de Wallonie ne doivent pas être négligées et que cette élaboration ne saurait se faire sans écouter l'avis des centres de tri, au cœur de la gestion des déchets C&D.

2.3. Limites et pistes pour un futur travail

Il est important de relever plusieurs limites inhérentes à notre travail. En premier lieu, notre recherche documentaire a souffert d'un manque de documentation wallonne sur les modes de collecte et contenants alternatifs utilisés lors de la récolte des déchets de démolition et construction. Nous nous sommes alors essentiellement basés sur les descriptions de la situation bruxelloise, et les avons extrapolées à notre contexte, malgré les différences entre ces deux régions, dont la place disponible sur chantier et la densité de ces chantiers.

Dans le même ordre d'idée, la documentation scientifique sur ces sujets était également lacunaire, la collecte n'étant que peu mentionnée. Nous n'avons alors pu effectuer qu'une confrontation partielle entre théorie et pratique observée en Wallonie.

Deux limites principales ressortent de la réalisation de nos entretiens. Tout d'abord, il y a une difficulté de généralisation des données récoltées. En effet, bien que le choix de nos entreprises ait été le plus représentatif possible, un échantillon de trois structures ne saurait refléter entièrement la myriade d'entités actives dans la collecte et le tri des déchets C&D en Wallonie. Notons à ce propos que nos trois entreprises ont une logique de tri fin, tandis que la littérature documentaire et nos échanges relèvent tous deux l'existence de centres se contentant d'un tri superficiel, revendant ensuite le résidu à d'autres établissements.

Ensuite, les informations recueillies lors de nos entretiens peuvent être incomplètes ou biaisées. Nos questions avaient en effet pour objectif de mettre en lumière le modèle d'affaires des entreprises interrogées. Or, comme cela d'ailleurs été souligné par l'entreprise B, ces informations sont confidentielles et relèvent de leurs stratégies internes. Il se peut donc que certains éléments aient été passés sous silence ou certains traits exagérés.

Finalement, notre analyse des coûts s'est basée sur de nombreuses hypothèses. Or, bien qu'elles aient été vérifiées avec Buildwise et au travers de nos entretiens, une limite pourrait probablement être trouvée pour chacune. Relevons-en trois principales. Tout d'abord, les coûts de transport vers les usines de recyclage sont une composante majeure du coût total pour l'entreprise de collecte et de tri. Or, nos hypothèses ne prennent pas en compte la création d'une nouvelle usine en Wallonie, qui pourrait grandement réduire ces distances.

De plus, les coûts fixes, tels que l'acquisition et l'entretien d'un centre de tri et d'une flotte de véhicules et contenants, n'ont pas été pris en compte dans nos calculs, cachant alors une part importante des coûts totaux. En dernier lieu, rappelons que le recours à des hypothèses au lieu de coûts réels tirés de comptes constitue en soi une limite aux résultats obtenus, bien que ces hypothèses aient été vérifiées autant que faire se peut.

Diverses pistes peuvent être envisagées pour un futur travail. Premièrement, il serait intéressant de mener une enquête basée sur un échantillon quantitatif plutôt que qualitatif, afin d'obtenir une vue d'ensemble plus large, bien que rentrant moins dans les détails. De plus, il serait aussi intéressant de recueillir l'avis d'entreprises de démolition plutôt que celui des entreprises de collecte et de tri, comme effectué ici. Ensuite, une étude attentive de la provenance et de la composition des déchets enfouis en Wallonie pourrait permettre de vérifier si les déchets de démolition évitent en effet cette fin de vie. Finalement, explorer une implémentation concrète d'un système de collecte alternatif, tel que la tournée du laitier, serait une direction prometteuse.

BIBLIOGRAPHIE PARTIE THÉORIQUE

Akanbi, L. A., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., Ajayi, A. O., Delgado, M. D., Bilal, M., & Bello, S. A. (2018). Salvaging building materials in a circular economy : A BIM-based whole-life performance estimator. *Resources, Conservation And Recycling*, 129, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.10.026>

Arm, M., Wik, O., Engelsen, C. J., Erlandsson, M., Sundqvist, J., Oberender, A., Hjelmar, O., & Wahlström, M. (2014). *ENCORT-CDW - Evaluation of the European recovery target for construction and demolition waste*. <https://doi.org/10.6027/na2014-916>

Arora, M., Raspall, F., Cheah, L., & Silva, A. (2020). Buildings and the circular economy : Estimating urban mining, recovery and reuse potential of building components. *Resources, Conservation And Recycling*, 154, 104581. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104581>

Babalola, O., Ibem, E. O., & Ezema, I. C. (2019). Implementation of lean practices in the construction industry : A systematic review. *Building And Environment*, 148, 34-43. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.10.051>

Bai, R., & Sutanto, M. (2002). The practice and challenges of solid waste management in Singapore. *Waste Management*, 22(5), 557-567. [https://doi.org/10.1016/s0956-053x\(02\)00014-4](https://doi.org/10.1016/s0956-053x(02)00014-4)

Bakshan, A., Srour, I., Chehab, G., El-Fadel, M., & Karaziwan, J. (2017). Behavioral determinants towards enhancing construction waste management : A Bayesian Network analysis. *Resources, Conservation And Recycling*, 117, 274-284. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.10.006>

Balwan, W. K., Singh, A., & Kour, S. (2022). 5R's of zero waste management to save our green planet: A narrative review. *European Journal of Biotechnology and Bioscience*, 10(1), 7-11.

Bentarzi, Y., Terfous, A., Hlawka, F., Ghenaim, A., Ferreira, P., Caillaud, E., & Poulet, J. B. (2007). Déchets inertes du BTP: vers un nouveau matériau anti-ruissellement et dépolluant. Dans *Annual meeting of AUGC*.

Bertino, G., Kisser, J., Zeilinger, J., Langergraber, G., Fischer, T., & Österreicher, D. (2021). Fundamentals of Building Deconstruction as a Circular Economy Strategy for the Reuse of Construction Materials. *Applied Sciences*, 11(3), 939. <https://doi.org/10.3390/app11030939>

- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy : A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal Of Industrial Ecology*, 21(3), 603-614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bovea, M., & Powell, J. (2016). Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management*, 50, 151-172. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036>
- Brambilla, G., Lavagna, M., Vasdravellis, G., & Castiglioni, C. A. (2019). Environmental benefits arising from demountable steel-concrete composite floor systems in buildings. *Resources, Conservation And Recycling*, 141, 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.014>
- Campbell-Johnston, K., Vermeulen, W. J., Reike, D., & Brullot, S. (2020). The Circular Economy and Cascading : Towards a Framework. *Resources, Conservation & Recycling*. X, 7, 100038. <https://doi.org/10.1016/j.rcrx.2020.100038>
- Carvajal-Arango, D., Bahamón-Jaramillo, S., Aristizábal-Monsalve, P., Vásquez-Hernández, A., & Botero, L. F. B. (2019). Relationships between lean and sustainable construction : Positive impacts of lean practices over sustainability during construction phase. *Journal Of Cleaner Production*, 234, 1322-1337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.216>
- Chau, C., Xu, J., Leung, T., & Ng, W. (2017). Evaluation of the impacts of end-of-life management strategies for deconstruction of a high-rise concrete framed office building. *Applied Energy*, 185, 1595-1603. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.01.019>
- Coelho, A., & De Brito, J. (2011). Economic analysis of conventional versus selective demolition—A case study. *Resources, Conservation And Recycling*, 55(3), 382-392. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.11.003>
- Coelho, A., & De Brito, J. (2012). Influence of construction and demolition waste management on the environmental impact of buildings. *Waste Management*, 32(3), 532-541. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.011>
- Cossu, R., & Williams, I. D. (2015). Urban mining : Concepts, terminology, challenges. *Waste Management*, 45, 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.040>

Dhib, S. (2017). Contribution à l'Optimisation de la Configuration et à l'évaluation de performances des réseaux logistiques inverses : Cas des déchets des équipements électriques et électroniques (Thèse de doctorat). Université de Sfax, Sfax, et Université Paris 8, Paris.

Di Maria, A., Eyckmans, J., & Van Acker, K. (2018). Downcycling versus recycling of construction and demolition waste : Combining LCA and LCC to support sustainable policy making. *Waste Management*, 75, 3-21. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.028>

Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O., & Finnveden, G. (2007). What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Management*, 27(8), 989-996. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.015>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the Circular economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. Ellen MacArthur Foundation, Cowes.

European Commission. (2020). A New Circular Economy Action Plan. Dans *EUR-Lex* (COM/2020/98). Consulté le 25 juin 2024, sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0098>

European Commission. (2014). Resource efficiency opportunities in the building sector. Dans *EUR-Lex* (COM/2014/0445). Consulté le 26 juin 2024, sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52014DC0445>

European Parliament. (2008). Directive (EU) 2008/98/CE of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste. Dans *EUR-Lex* (32008L0098). Consulté le 25 juin 2024, sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32008L0098>

European Parliament. (2018). Directive (EU) 2018/851 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste. Dans *EUR-Lex* (32018L0851). Consulté le 25 juin 2024, sur <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32018L0851>

Eymery, P. (1997). *La logistique de l'entreprise*. Hermès.

Francis, A., & Thomas, A. (2020). Exploring the relationship between lean construction and environmental sustainability : A review of existing literature to decipher broader dimensions. *Journal Of Cleaner Production*, 252, 119913. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119913>

Gálvez-Martos, J-L., Styles, D., Schoenberger, H., & Zeschmar-Lahl, B. (2018). Construction and demolition waste best management practice in Europe. *Resources, Conservation And Recycling*, 136, 166-178. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.016>

Geissdoerfer, M., Pieroni, M. P., Pigosso, D. C., & Soufani, K. (2020). Circular business models : A review. *Journal Of Cleaner Production*, 277, 123741. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123741>

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm ? *Journal Of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Ghisellini, P., Ji, X., Liu, G., & Ulgiati, S. (2018). Evaluating the transition towards cleaner production in the construction and demolition sector of China : A review. *Journal Of Cleaner Production*, 195, 418-434. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.084>

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

Giorgi, S., Lavagna, M., Wang, K., Osmani, M., Liu, G., & Campioli, A. (2022). Drivers and barriers towards circular economy in the building sector: Stakeholder interviews and analysis of five European countries policies and practices. *Journal Of Cleaner Production*, 336, 130395. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130395>

Helbig, C., Huether, J., Joachimsthaler, C., Lehmann, C., Raatz, S., Thorenz, A., Faulstich, M., & Tuma, A. (2022). A terminology for downcycling. *Journal Of Industrial Ecology*, 26(4), 1164-1174. <https://doi.org/10.1111/jiec.13289>

Hossain, M. U., Wu, Z., & Poon, C. S. (2017). Comparative environmental evaluation of construction waste management through different waste sorting systems in Hong Kong. *Waste Management*, 69, 325-335. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.07.043>

Hoveskog, M., Halila, F., Mattsson, M., Upward, A., & Karlsson, N. (2018). Education for Sustainable Development : Business modelling for flourishing. *Journal Of Cleaner Production*, 172, 4383-4396. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.112>

- Hu, M., Kleijn, R., Kossara, B-K., & Di Maio, F. (2013). An approach to LCSA : the case of concrete recycling. *The International Journal Of Life Cycle Assessment*, 18(9), 1793-1803. <https://doi.org/10.1007/s11367-013-0599-8>
- Huang, B., Wang, X., Kua, H., Geng, Y., Bleischwitz, R., & Ren, J. (2018). Construction and demolition waste management in China through the 3R principle. *Resources, Conservation And Recycling*, 129, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.029>
- Jaillon, L., & Poon, C. (2014). Life cycle design and prefabrication in buildings : A review and case studies in Hong Kong. *Automation In Construction*, 39, 195-202. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.09.006>
- Jain, M. S., Sudarsan, J. S., & Parija, P. P. (2023). Managing construction and demolition waste using lean tools to achieve environmental sustainability : an Indian perspective. *Environmental Science And Pollution Research International*, 30(19), 57188-57200. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-26445-z>
- Jansen, B. W., Van Stijn, A., Gruis, V., & Van Bortel, G. (2020). A circular economy life cycle costing model (CE-LCC) for building components. *Resources, Conservation And Recycling*, 161, 104857. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104857>
- Joensuu, T., Edelman, H., & Saari, A. (2020). Circular economy practices in the built environment. *Journal Of Cleaner Production*, 276, 124215. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124215>
- Karaz, M., Teixeira, J. C., & Rahla, K. M. (2020). Construction and Demolition Waste—A Shift Toward Lean Construction and Building Information Model. Dans *Advances in Science, Technology & Innovation* (p. 51-58). https://doi.org/10.1007/978-3-030-35533-3_8
- Keane, S. F., Cormican, K. T., & Sheahan, J. N. (2018). Comparing how entrepreneurs and managers represent the elements of the business model canvas. *Journal Of Business Venturing Insights*, 9, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.jbvi.2018.02.004>
- Koutamanis, A., Van Reijn, B., & Van Bueren, E. (2018). Urban mining and buildings : A review of possibilities and limitations. *Resources, Conservation And Recycling*, 138, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.024>

- Krook, J., & Baas, L. (2013). Getting serious about mining the technosphere : a review of recent landfill mining and urban mining research. *Journal Of Cleaner Production*, 55, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.043>
- Krook, J., Svensson, N., & Eklund, M. (2012). Landfill mining : A critical review of two decades of research. *Waste Management*, 32(3), 513-520. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.015>
- Lambert, S. & Riopel, D. (2003). Logistique inverse : revue de littérature. *Les Cahiers du GERAD*. G-2003-61. ISSN: 0711-2440
- Lambert, S., & Riopel, D. (2007). Optimisation d'un réseau de logistique inverse pour le transport des matières dangereuses résiduelles. *Information Systems And Operational Research*, 45(4), 209-221. <https://doi.org/10.3138/infor.45.4.209>
- Lu, W., & Yuan, H. (2011). A framework for understanding waste management studies in construction. *Waste Management*, 31(6), 1252-1260. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018>
- Morris, M., Schindehutte, M., & Allen, J. (2005). The entrepreneur's business model : toward a unified perspective. *Journal Of Business Research*, 58(6), 726-735. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.11.001>
- Nußholz, J. L., Rasmussen, F. N., & Milios, L. (2019). Circular building materials : Carbon saving potential and the role of business model innovation and public policy. *Resources, Conservation And Recycling*, 141, 308-316. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.036>
- Ossio, F., Salinas, C., & Hernández, H. (2023). Circular economy in the built environment : A systematic literature review and definition of the circular construction concept. *Journal Of Cleaner Production*, 414, 137738. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137738>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business Model Generation : A handbook for visionaries, game changers and challengers*
- Pan, S., Du, M. A., Huang, I., Liu, I., Chang, E., & Chiang, P. (2015). Strategies on implementation of waste-to-energy (WTE) supply chain for circular economy system : a review. *Journal Of Cleaner Production*, 108, 409-421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.124>

- Panchal, R., Singh, A., & Diwan, H. (2021). Does circular economy performance lead to sustainable development ? – A systematic literature review. *Journal Of Environmental Management*, 293, 112811. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112811>
- Pantini, S., & Rigamonti, L. (2020). Is selective demolition always a sustainable choice ? *Waste Management*, 103, 169-176. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.033>
- Pollard, J., Osmani, M., Cole, C., Grubnic, S., & Colwill, J. (2021). A circular economy business model innovation process for the electrical and electronic equipment sector. *Journal Of Cleaner Production*, 305, 127211. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127211>
- Pollard, J., Osmani, M., Grubnic, S., Díaz, A. I., Grobe, K., Kaba, A., Ünlüer, Ö., & Panchal, R. (2023). Implementing a circular economy business model canvas in the electrical and electronic manufacturing sector : A case study approach. *Sustainable Production And Consumption*, 36, 17-31. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.12.009>
- Pomponi, F., & Moncaster, A. (2017). Circular economy for the built environment : A research framework. *Journal Of Cleaner Production*, 143, 710-718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Poon, C., Yu, A. T., & Ng, L. (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. *Resources, Conservation And Recycling*, 32(2), 157-172. [https://doi.org/10.1016/s0921-3449\(01\)00052-0](https://doi.org/10.1016/s0921-3449(01)00052-0)
- Ramos, M., Paiva, A., & Martinho, G. (2024). Understanding the perceptions of stakeholders on selective demolition. *Journal Of Building Engineering*, 82, 108353. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108353>
- Ranta, V., Aarikka-Stenroos, L., & Mäkinen, S. J. (2018). Creating value in the circular economy : A structured multiple-case analysis of business models. *Journal Of Cleaner Production*, 201, 988-1000. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.072>
- Reike, D., Vermeulen, W. J., & Witjes, S. (2018). The circular economy : New or Refurbished as CE 3.0 ? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation And Recycling*, 135, 246-264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>

Ruiz, L. A. L., Ramón, X. R., & Domingo, S. G. (2020). The circular economy in the construction and demolition waste sector – A review and an integrative model approach. *Journal Of Cleaner Production*, 248, 119238. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119238>

Sanchez, B., Rausch, C., Haas, C., & Saari, R. (2020). A selective disassembly multi-objective optimization approach for adaptive reuse of building components. *Resources, Conservation And Recycling*, 154, 104605. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104605>

Sanchez, B., Rausch, C., & Haas, C. (2019). Deconstruction programming for adaptive reuse of buildings. *Automation In Construction*, 107, 102921. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102921>

Trimi, S., & Berbegal-Mirabent, J. (2012). Business model innovation in entrepreneurship. *International Entrepreneurship And Management Journal*, 8(4), 449-465. <https://doi.org/10.1007/s11365-012-0234-3>

Van Stijn, A., Eberhardt, L. M., Jansen, B. W., & Meijer, A. (2021). A Circular Economy Life Cycle Assessment (CE-LCA) model for building components. *Resources, Conservation And Recycling*, 174, 105683. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105683>

Wang, J., Yuan, H., Kang, X., & Lu, W. (2010). Critical success factors for on-site sorting of construction waste : A china study. *Resources, Conservation And Recycling*, 54(11), 931-936. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.01.012>

BIBLIOGRAPHIE RECHERCHE DOCUMENTAIRE

Angot, J., & Milano, P. (2005). Comment lier concepts et données. *Recherche En Soins Infirmiers*, N° 80(1), 12-27. <https://doi.org/10.3917/rsi.080.0012>

Bacq, C. (2024). Les entreprises et particuliers belges paient moins cher leur énergie que leurs voisins. L’Echo. Consulté le 05 juillet 2024 sur <https://www.lecho.be/dossiers/crise-energetique/les-entreprises-et-particuliers-belges-paient-moins-cher-leur-energie-que-leurs-voisins/10546501.html>

Bauby, A., Florentin, D., & Chatain, V. (2022). L’épreuve du tri sur site des déchets de la construction. *Environnement, Ingénierie & Développement*, N°86-EID. <https://doi.org/10.46298/eid.2021.8336>

Blair, E. (2015). A reflexive exploration of two qualitative data coding techniques. *Journal Of Methods And Measurement In The Social Sciences*, 6(1). <https://doi.org/10.2458/v6i1.18772>

Buildwise. (s. d.). À propos de Buildwise - votre centre innovant. *Buildwise*. Consulté le 13 mai 2024 sur <https://www.Buildwise.be/fr/a-propos-de-Buildwise/>

Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC). (2019). Chantiers pilotes de gestion innovante des déchets de construction à Bruxelles - Analyse et enseignements. https://www.cpdb.brussels/fr/le_rapport/

Confédération Construction wallonne (CCW). (2014). Guide environnement à usage des entreprises de la construction. http://environnement.wallonie.be/publi/education/Guide_environment_2014.pdf

De Cazenove, A., & Vernus, E. (2011). Déchets de démolition et déconstruction : gisements, caractérisations, filières de traitement et valorisation. https://record-net.org/storage/etudes/09-0139-1A/rapport/Rapport_record09-0139_1A.pdf

Delemarle, G. (2024). Retour sur investissement : définition, comment le calculer ?. L-Expert-Comptable. Consulté le 06 juillet 2024 sur <https://l-expert-comptable.com/a/52676-le-retour-sur-investissement.html>

Deloitte, & Denuo. (2023). Étude climatique pour le secteur du traitement des déchets et du recyclage en Belgique.

https://denuo.be/sites/default/files/20230608_Denuo%20Climate%20Study_vF_FR.pdf

Dorifor. (2015). *Valoriste - déconstructeur sur chantier*.

https://www.dorifor.be/pdf_entite.php?forma%5B%5D=6213

Embuild. (s.d.). Qui sommes-nous ? *Embuild*. Consulté le 11 avril 2024 sur <https://embuild.be/fr/qui-sommes-nous>

Fromont, E. (2005). Concevoir, construire, et exploiter un centre de tri. Eco-emballages. Consulté le 05 juillet 2024 sur <https://bo.citeo.com/sites/default/files/2021-09/concevoir-centre-de-tri.pdf>

Gaudiaut, T. (2023). Prix de l'électricité : ce que payent les entreprises en Europe. *Statista*. Consulté le 05 juillet 2024 sur <https://fr.statista.com/infographie/30253/comparaison-prix-electricite-pour-les-industriels-entreprises-par-pays-en-europe/>

Gobab. (s.d.). À propos de Gobag. *Gobag*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.gobag.be/fr/over-gobag>

Gouvernement wallon. (2018). Plan wallon des Déchets-Ressources. http://environnement.wallonie.be/rapports/owd/pwd/PWDR_3.pdf

Gyproc, & Isover. (2023). Purpose Report Gyproc & Isover. https://isover.gyproc.be/fr/purpose-report/2023?utm_campaign=Duurzaamheid%202023&utm_source=linkedin&utm_medium=social&utm_term=purposereport

Houbart, G. (s.d.). Knauf Blue - le recyclage du plâtre. Knauf. Consulté le 24 mars 2024 sur <https://knauf.com/fr-BE/durabilite/recyclage-knauf/recycler-platre>

Imbert, G. (2010). L'entretien semi-directif : à la frontière de la santé publique et de l'anthropologie. *Recherche en soins infirmiers*, 102, 23-34. <https://doi.org/10.3917/rsi.102.0023>

Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement (IBGE). (2009). Guide de gestion des déchets de construction et de démolition.

http://www.cifful.ulg.ac.be/images/annexes_reemploi2013/phase1/1_2/IBGE_Guide_Deche ts_construction.pdf

Institut Bruxellois pour la gestion de l'environnement (IBGE). (2011). Rapport technique "bâtiments exemplaires"– Fiche 4.3 : la gestion des déchets du secteur de la construction. https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF_BATEX_Fiche4.3_Dechets_F R.pdf

IWEPS. (2024). Wallonie – Densité de population. *Iweps*. Consulté le 04 juillet 2024 sur <https://www.iweps.be/indicateur-statistique/densite-de-population/>

Khandkar, S. H. (2009). Open coding. *University of Calgary*, 23(2009).

Le CERAA ASBL, & Rotor ASBL. (2012). Etude sur l'analyse du gisement, des flux et des pratiques de prévention et de gestion des déchets de construction et démolition en RBC. https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Etude_dechets_construction_C ERAA_Rotor.PDF

New West Gypsum Recycling (Belgium) inc. (s.d.). Nwgypsum. Consulté le 23 mars 2024 sur <https://www.nwgypsum.com/belgium.html>

Parachevementshop. (s.d.). BRN – Sac déchets chantier bâtisac 1m3. *Parachevementshop*. Consulté le 12 mars 2024 sur <https://www.parachevementshop.be/brn-sac-dechets-chantier-batisac-1m3.html>

Parlement européen. (2021). Comment parvenir à une économie circulaire d'ici 2050 ? Consulté le 19 avril 2024 sur https://single-market-economy.ec.europa.eu/industry/sustainability/buildings-and-construction_en?prefLang=fr&etrans=fr

Pin, C. (2023). *L'entretien semi-directif*. LIEPP Fiche méthodologique n°3. <https://sciencespo.hal.science/hal-04087897>

Recyclage de plâtre à destination des industries cimentières. (s.d.). Wal-Tech. Consulté le 23 mars 2024 sur https://www.wal-tech.be/fr/success_stories/recyclage-de-platre-a-destination-des-industries-cimentieres/

Replic, un centre de recyclage du plâtre unique en Europe. (s.d.). Replic. Consulté le 24 mars 2024 sur <https://replic.bside.be/>

Romnée, A., & Vrijders, J. (2018). Vers une économie circulaire dans la construction : introduction aux principes de l'économie circulaire dans le secteur de la construction. [https://www.Buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/downloadfile?file=31400/fr/unprotected/Vers une economie circulaire dans la construction.pdf](https://www.Buildwise.be/umbraco/surface/publicationitem/downloadfile?file=31400/fr/unprotected/Vers%20une%20economie%20circulaire%20dans%20la%20construction.pdf)

Rotor ASBL. (s.d.). About us. *Rotordb*. Consulté le 11 avril 2024 sur <https://rotordb.org/en/about-us>

Rotor ASBL. (2012). Encadrement technique pour l'élaboration d'un appel à projet sur la collecte des déchets sur les petits chantiers en région de Bruxelles-Capitale. [https://rotordb.org/sites/default/files/2019-06/rotor etude contenants rapport final 1.pdf](https://rotordb.org/sites/default/files/2019-06/rotor_etude_contenants_rapport_final_1.pdf)

Service Francophone des Métiers et Qualifications (SMFQ). (2017). *Profil métier : Valoriste généraliste*. [https://sfmq.cfwb.be/fileadmin/sites/sfmq/uploads/Fichiers/Profils/Valorisation des dechets/PMC ValGen.pdf](https://sfmq.cfwb.be/fileadmin/sites/sfmq/uploads/Fichiers/Profils/Valorisation_des_dechets/PMC_ValGen.pdf)

Service Public de Wallonie (SPW). 2024. Cahier des Charges Type Bâtiments. [Téléchargement du CCTB \(wallonie.be\)](#)

Statbel. (2022). Production de déchets : la production de déchets est restée stable en 2020. Consulté le 19 avril 2024 sur <https://statbel.fgov.be/fr/themes/environnement/dechets-et-pollution/production-de-dechets#news>

BIBLIOGRAPHIE ANALYSE COMPARATIVE

123bigbags. (s.d.). Big Bag 1m3 sangles standards 90x90x110. *123bigbags*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.123bigbags.com/fr/fr/big-bag/big-bag-fond-plat-90x90x110>

44 Tonnes. (s.d.). Le camion grue. *44tonnes*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.44tonnes.com/camion-grue-99>

44 Tonnes. (s.d.). Qu'est-ce que le camion 8x4 ? *44tonnes*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.44tonnes.com/camion-8-x-4-137>

Advance Greenshop. (s.d.). Bigbag vide/ sac de déchets de construction/ sac de gravats. *Advancegreenshop*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://advancegreenshop.be/fr/service-de-conteneur/320-bigbag-vide.html>

Alliance experts. (s.d.). Marge des distributeurs, bénéfiques et prix de détail dans les produits de grande consommation et autres industries. *Allianceexperts*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.allianceexperts.com/fr/margin-distributor/>

BToBag. (s.d.). Comment transporter un Big-Bag ? *Btobag*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.btobag.fr/blog/articles-informatifs-big-bag/comment-transporter-un-big-bag/>

Contenedores Azor. (s.d.). Benne ampliroll 12 m3 de capacité. *Contenedoresazor*. Consulté le 03 avril 2024 sur <https://contenedoresazor.com/fr/conteneurs/bennes-ampliroll/bennes-ampliroll-ouvertes-et-fermees/benne-ampliroll-12-m3-de-capacite/>

Corderie Bauwens Gheur. (s.d.). Big bag vide | 1,5 tonne. *Corderie-bauwens*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.corderie-bauwens.be/fr/catalog/big-bag-vide-15-tonne~b7afcdee-9dd5-b5f5-f096-39f6eef706af>

Ecolow. (2023). Consommation camion : Enjeux & Impact ! *Ecolow*. Consulté le 20 mars 2024 sur <https://www.ecolow.fr/consommation-camion/>

Gamma. (s.d.). Bigbag sac vide. *Gamma*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.gamma.be/fr/assortiment/bigbag-sac-vide/p/B251877>

Gaudy. (s.d.). Camion(s) ampliroll avec bennes. *Gaudy-euromat*. Consulté le 03 avril 2024 sur <https://www.gaudy-euromat.fr/camion-ampliroll.html>

Glassdoor. (2024). Salaires d'un agent de tri, Belgique. *Fr.glassdoor*. Consulté le 20 mars 2024 sur https://fr.glassdoor.be/Salaires/agent-de-tri-salaire-SRCH_KO0,12.htm

Glassdoor. (2024). Salaires d'un gestionnaire logistique, Belgique. *Fr.glassdoor*. Consulté le 20 mars 2024 sur https://fr.glassdoor.be/Salaires/gestionnaire-logistique-salaire-SRCH_KO0,23.htm

Guingamp Négoce. (s.d.). Produits et matériaux de la société Guingamp Négoce. *Guingamp-negoce*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.guingamp-negoce.fr/transport-Pr88-C8-SC25.html>

Hublet. (s.d.). Hublet : zones. *Hublet-ets*. Consulté le 04 avril 2024 sur https://www.hublet-ets.be/sites/default/files/2023-07/hublet_zones.pdf

Hublet. (2024). Tarif en vigueur au 01/02/2024 (TVAC). *Hublet-ets*. Consulté le 04 avril 2024 sur https://www.hublet-ets.be/sites/default/files/2024-02/tarifs_containers_par_zone_tvac_fevrier_2024.pdf

Jooble. (s.d.). Assistant logistique salaires. *Be.jooble*. Consulté le 20 mars 2024 sur <https://be.jooble.org/salary/assistant-logistique>

Minier. (s.d.). Nos modes de livraison. *Minier*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.minier.fr/minier-granulats/livraison/>

ONSS. (2024). Les cotisations de sécurité sociale. *Socialsecurity*. Consulté le 20 mars 2024 sur <https://www.socialsecurity.be/employer/instructions/dmfa/fr/latest/instructions/socialsecuritycontributions/contributions.html#h21>

Renoux, A. (2023). Connaissez-vous la consommation de carburant d'un poids lourd ? *Webfleet*. Consulté le 20 mars 2024 sur https://www.webfleet.com/fr_fr/webfleet/blog/connaissez-vous-la-consommation-carburant-dun-poids-lourd/

Securex. (s.d.). Coûts salariaux et rémunération : tout ce qu'il faut savoir. *Securex*. Consulté le 20 mars 2024 sur <https://www.securex.be/fr/politique-rh/couts-salariaux-et-remuneration>

Statbel. (2024). Tarif officiel moyen des produits pétroliers en euros dernières 8 années. *Bestat.statbel.fgov*. Consulté le 20 mars 2024 sur

<https://bestat.statbel.fgov.be/bestat/crosstable.xhtml?view=74d181b1-7074-4c9f-9a71-85303980d41f>

Stepstone. (s.d.). Salaires pour la fonction Chauffeur/euse poids lourd à Belgique. *Stepstone*. Consulté le 20 mars 2024 sur <https://www.stepstone.be/salaire/Chauffeur-euse-poids-lourd.html>

Tegui Contenedores. (s.d.). Benne standard 12m3. *Teguicontenedores*. Consulté le 03 avril 2024 sur <http://teguicontenedores.com/fr/bennes-de-modele-francais/benne-standard-12m3-128.html>

Tegui Contenedores. (s.d.). Benne VRA 12m3. *Teguicontenedores*. Consulté le 03 avril 2024 sur <http://teguicontenedores.com/fr/bennes-de-modele-francais/benne-vra-12m3-164.html>

Truck1. (s.d.). Camion benne Iveco Eurotrakker 350 6x4 francais. *Truck1*. Consulté le 03 avril 2024 sur <https://www.truck1.be/vente/occasion/camions/camions-bennes/iveco-eurotrakker-350-6x4-a7021492.html>

Trucks NL. (s.d.). Iveco Trakker 360. *Trucksnl*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.trucksnl.be/fr-be/iveco-trakker-360-7750562-vd>

Trucks NL. (s.d.). Mercedes-Benz Actros 3246. *Trucksnl*. Consulté le 19 mars 2024 sur <https://www.trucksnl.be/fr-be/mercedes-benz-actros-3246-7724990-vd>

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique | www.uclouvain.be/lsm