



THESIS / THÈSE

MASTER EN INGÉNIEUR DE GESTION À FINALITÉ SPÉCIALISÉE EN ANALYTICS & DIGITAL BUSINESS

Analyse du soutien de technologies numériques à l'économie circulaire : cas d'application d'une plateforme de partage d'informations dans le domaine de la construction.

NOEL, Louise

Award date:
2022

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Analyse du soutien de technologies numériques à l'économie circulaire

Cas d'application d'une plateforme de partage d'informations dans le domaine de la construction

Louise NOËL

Directeur: Prof. C. PONSARD

Mémoire présenté
en vue de l'obtention du titre de
Master 120 en ingénieur de gestion, à finalité spécialisée
en Analytics & Digital Business

ANNEE ACADEMIQUE 2021-2022

Résumé

De nos jours, les changements climatiques liés à la pollution rendent nécessaires une meilleure gestion des ressources. Un moyen d'y parvenir est de réaliser le passage d'une économie linéaire à une économie circulaire caractérisée par différentes stratégies permettant de garder la valeur de ces ressources. Leur mise en œuvre est facilitée par l'utilisation de nouveaux *business models canvas*, amenant certaines transformations et défis. La mise en place de ces nouveaux écosystèmes peut être facilitée par le numérique qui dans le même temps transforme de plus en plus le mode de fonctionnement de nombreux secteurs. Ce mémoire explore comment analyser ce processus de transition vers une économie circulaire et de l'apport du numérique en s'appuyant sur un canevas permettant l'analyse d'une chaîne de valeur circulaire en y intégrant notamment l'analyse des flux d'informations. Sur cette base, des solutions technologiques émergentes sont identifiées tels que l'IA, la Blockchain ou encore les jumeaux numériques. La démarche proposée est illustrée sur un cas d'étude issue du secteur de la construction. Outre les apports du numérique, certains obstacles et dangers à traiter adéquatement sont discutés, notamment concernant l'adoption, l'empreinte énergétique et la généralisation de l'analyse.

--

Nowadays, climate change due to pollution makes a better management of resources a necessity. One way to achieve this is to make the transition from a linear to a circular economy characterized by different strategies to preserve the value of these resources. Their implementation is facilitated using new business models canvas, helping to address some transformations and challenges. The establishment of these new ecosystems can be facilitated by digital technology, which at the same time is increasingly transforming the way many sectors operate. This thesis explores how to analyze this transformation process to a circular economy and the contribution of digital technology. It relies on a framework for the analysis of a circular value chain, including the analysis of information flows. On this basis, emerging technological solutions are identified such as AI, Blockchain or digital twins. The proposed approach is illustrated by a case study from the construction sector. In addition to the contributions of digital technology, some obstacles and threats that need to be adequately addressed are discussed, especially regarding adoption, energy footprint and generalization of the analysis.

Remerciements

J'aimerais commencer par remercier Christophe Ponsard, mon promoteur de mémoire, pour sa disponibilité et son soutien tout le long des recherches, analyses et écriture de ce mémoire.

Je remercie également l'équipe de SuReal, où j'ai réalisé mon stage de fin d'étude et où ils ont pris le temps de m'éclairer sur certains points assez flous concernant le secteur de la construction. Pour terminer, je tiens à remercier les personnes qui m'ont soutenu et aidé de près ou de loin, comme mes parents et mon beau-père pour leur relecture et les nombreuses discussions qui m'ont parfois permis d'avoir un regard nouveau sur ce mémoire.

Je finirai par remercier l'Université de Namur pour m'avoir donné l'occasion de trouver ma future voie professionnelle et de réaliser un mémoire en lien avec celle-ci.

Table des matières

Résumé	1
Remerciements.....	1
1. Introduction.....	4
2. Économie circulaire dans le secteur de la construction.....	6
2.1 Contexte : économie linéaire et challenges mondiaux	6
2.2 L'économie circulaire	8
2.2.1 Origines	8
2.2.2 Définition	8
2.2.3 Piliers.....	9
2.2.4 Le modèle Butterfly	11
2.2.5 Stratégies en R.....	13
2.2.6 Situation de l'économie circulaire en Wallonie	13
2.3 Secteur de la construction	14
2.3.1 Introduction	14
2.3.2 Secteur de la construction - définitions, acteurs et limitations.....	15
2.3.3 Limitations	17
2.3.4 Situation en Wallonie dans le secteur de la construction.....	17
2.4 Business models circulaires.....	18
2.4.1 Business model canevas circulaire	18
2.4.2 Changement de perspective.....	19
2.4.3 Collaboration.....	19
2.4.4 Limitations et défis.....	19
3. Analyse.....	21
3.1 Approche méthodologique.....	21
3.1.1 Situer la maturité	22
3.1.2 Élaborer la chaîne de valeur circulaire.....	23
3.1.3 Caractériser les besoins du secteur pour une transformation circulaire	24
3.1.4 Identifier les technologies numériques.....	24
3.2 Application au secteur de la construction.....	25
3.2.1 L'économie circulaire dans le secteur de la construction - chaîne de valeur.....	25
3.2.2 Multipick	29
3.2.3 Rotor.....	29
3.2.4 Vers un inventaire partagé.....	31
4. Discussions.....	35
4.1.1 Standardisation et motivation des acteurs.....	35
4.1.2 Bâtiment comme un service	35
4.1.3 Aspect financier	35
4.1.4 Généralisation de l'application de la méthodologie.....	36
4.1.5 Cybersécurité.....	36
4.1.6 Aspect environnemental.....	36
5. Conclusion.....	38
6. Bibliographie	39

7. Annexes	45
Glossaire	45
Annexe I – Stratégies en R.....	47
Annexe II – BMC linéaire.....	48
Annexe III – BMC circulaire	49
Annexe IV - Chaîne de valeur circulaire canevas	50
Annexe V – Prototype BAMB	50
Annexe VI – Types d’entreprises concernant l’adoption des innovations.....	51
Annexe VII – Radar à impact	52
Annexe VIII – Matrice des priorités.....	52
Annexe IX – Données énergétiques du numérique	53

1. Introduction

Depuis une décennie, il est devenu de plus en plus évident que notre modèle économique essentiellement linéaire et gourmand en ressources ne pourra pas toujours répondre à la demande croissante de l'Homme. En effet, la situation de notre société actuelle a fortement évolué. Il y a 50 ans de ça, les habitants allaient acheter leur lait au fermier du village, dans des bouteilles en verre qui étaient réutilisées. Maintenant, et je parle ici d'une majorité des occidentaux, nous nous rendons au supermarché et achetons du lait dans un emballage unique (sous brique ou bouteille en plastique) qui aura souvent parcouru des centaines de kilomètres pour arriver sur ces étagères. D'après l'organisation National Geographic (s. d.) : "la production mondiale de plastique a connu une croissance exponentielle, passant de 2,3 millions de tonnes en 1950 à 162 millions en 1993 puis 448 millions en 2015." Imaginons un peu la suite logique pour l'année 2022... Nos exigences ont changé : nous voulons toujours plus, à un prix réduit et dans l'immédiat, augmentant la quantité émise de CO₂ à travers les chaînes de valeur des produits, notamment par ces nouveaux flux de transport créés. En réaction à ces changements, la réserve de ressources non-renouvelables s'épuise et la quantité de déchets ne cesse d'augmenter, ayant notamment des impacts sur l'environnement et le climat. De nouvelles formes de production, de consommation et de valorisation des produits sont ainsi à envisager pour améliorer la durabilité de l'offre (labolsadepapel, s. d.). Diverses actions sont envisageables sur ces divers axes : une production moins gourmande en ressources et mieux planifiée, une consommation plus responsable, plus locale, avec moins de déchets et globalement plus de mutualisation (Ponsard, 2022).

Ce mémoire considère une des solutions à ces problèmes de surconsommation et de gaspillage des ressources (Meadows et al., 2012) : l'**économie circulaire**. Une telle économie repose sur différentes **stratégies souvent qualifiées par la lettre "R"**, comme Recycler, Réutiliser et de nombreuses autres. Ces stratégies permettent de garder les ressources le plus longtemps possible dans le cycle de vie des produits en maximisant leur valeur, permettant de diminuer l'extraction de nouvelles ressources. Cependant, pour les intégrer au sein des modèles économiques des entreprises et/ou secteurs, de nouveaux *business models canvas* doivent être développés. Pour répondre à certaines limitations, je me suis appuyée sur l'utilisation de technologies numériques. Alexis Willemot, à travers son article "Vers une économie circulaire" (2020), a soulevé la nécessité de coordonner la transformation numérique et celle circulaire en soulignant que les technologies permettraient de soulever certaines barrières relevées lors de la description des *business model* circulaires. D'autres études suivent cette direction. En me focalisant sur l'une des barrières, le partage d'informations, j'ai pu établir ma question de recherche :

« Comment les technologies numériques peuvent-elles soutenir le partage d'informations afin d'accélérer la transition vers une économie circulaire ? »

Cette question permettrait, notamment, de tenter de relever la première et plus importante barrière concernant le partage d'informations et d'ainsi contribuer à une adoption plus efficace des modèles circulaires au sein des entreprises et secteurs d'activités. Pour mener cette analyse, j'ai réutilisé un canevas de *business model* circulaire et sur base des limitations dont j'avais pris conscience lors du cours¹ "Circular Economy and Business Model" donné par le professeur Davide Chiaroni et son assistant Alessio Nasca, j'ai proposé un moyen d'analyse plus fin pour identifier les flux de données et sur cette base, les technologies adéquates. Pour valider, j'ai appliqué ces outils au secteur de la construction que j'ai donc pris comme étude de cas. Le choix de ce secteur n'est en rien anodin. En

¹ Cours suivi à la Polytechnique de Milan pendant mon Erasmus en 2021.

effet, ce secteur, en plus d'avoir un impact économique important (représentant 9% du PIB de l'Union Européenne), a un impact sur l'environnement qui le pose comme étant l'un des principaux acteurs pour résoudre les problèmes environnementaux actuels. En effet, ce secteur serait le plus grand consommateur de ressources, que ce soit des ressources matérielles (50% de la consommation des matières premières) ou énergétiques avec 36% de la consommation énergétique mondiale (Norouzi et al., 2021). Cela me permet donc de proposer des solutions technologiques facilitant le partage des données au sein du secteur de la construction, en fonction de l'analyse portée au préalable faite grâce à certains outils.

Ce mémoire s'articule majoritairement autour de deux parties distinctes. La première partie présente divers aspects théoriques. Elle commence par une introduction présentant l'économie linéaire, ses limites, débouche sur l'économie circulaire, ses concepts et stratégies. Ces aspects sont suivis par la présentation du cas d'étude, du *business model* circulaire et de ses limitations. La deuxième partie rassemble ma contribution au sujet, présentée sous la forme d'une démarche analytique et plusieurs discussions portant sur les résultats de cette analyse. Un Glossaire est présent à la fin de ce mémoire, dans la partie Annexes.

2. Économie circulaire dans le secteur de la construction

2.1 Contexte : économie linéaire et challenges mondiaux

Depuis la révolution industrielle du XIX^{ème} siècle, le monde suit essentiellement une **économie** de type **linéaire** (labolsadepapel, s. d.) ; c'est-à-dire que les matières premières, une fois extraites, poursuivent leur chemin au sein d'un processus de production et sont transformées petit à petit en produit fini. Ce résultat devient ensuite la propriété de son acheteur. À sa fin de vie, le produit sera jeté ou encore stocké par son propriétaire. Ce parcours peut facilement être représenté par une ligne droite et continue, d'où le nom de ce type d'économie (Vaudano et Breteau, 2018).



Figure 2-1 : Processus linéaire.

Cependant, ces systèmes linéaires épuisent rapidement les ressources. Cette consommation des ressources, associée à de nombreuses émissions de CO₂, augmente la production de déchets et a des effets négatifs sur les écosystèmes et le capital naturel². En plus de surexploiter ces ressources, on diminue également les chances de disposer d'une offre constante de ces ressources dans le futur. Cette économie a ainsi ses limites et la mondialisation est un bon exemple de l'incapacité à maintenir une telle économie (Commission Européenne, 2020). Aujourd'hui, la Chine est devenue le plus grand consommateur mondial de matières premières et de produits manufacturés. Aux États-Unis et en Europe, nous recevons leurs produits, les consommons, et ils sont par après considérés comme déchets, avec les problèmes de pollution et de gestion des décharges qui en résultent. (Sauvé et al., 2016) L'Homme consomme en effet plus que ce qu'il n'a à disposition et cette demande ne cesse d'augmenter. Cette croissance peut notamment être expliquée par l'apparition, à l'issue de l'industrialisation, de certaines tendances mondiales apparues. Citons notamment la réduction du taux de mortalité, la hausse de celui de fertilité et l'augmentation de l'espérance de vie, qui induisent une augmentation considérable de la population (2,6 milliards de personnes en 1950 contre 7,7 milliards à nos jours... pour 10 milliards annoncés en 2050 (Deluzarche, 2021)). Et pour aggraver la situation, la consommation individuelle augmente aussi en parallèle. Aujourd'hui, l'Homme utilise l'équivalent de 1,7 Terre pour fournir les ressources dont il a besoin pour répondre à sa demande et absorber les déchets. La population mondiale utilise ainsi chaque année 1,7 fois les ressources renouvelables de la planète (One Heart, 2021). Cette consommation n'est pas répartie de manière égale à travers la planète. Certains pays consomment plus, comme par exemple les Etats-Unis qui consomment environ 5 Terres par an. Il est intéressant d'analyser cet indicateur, le "Earth Overshoot Day", le jour du dépassement, calculé par l'ONG américaine Global Footprint Network³, car il permet de soumettre une estimation de la date à laquelle la Terre ne peut plus produire de ressources renouvelables continuellement et absorber les déchets, au vu de l'importance de

² Le capital naturel « regroupe l'ensemble des ressources naturelles utiles directement aux hommes ou qu'il peut exploiter techniquement et économiquement. Ces ressources ne sont pas produites par l'homme, en général, mais il peut les consommer ou les exploiter. » (SES, 2021).

³ D'après leur site internet, Global Footprint Network est "un organisme de recherche qui modifie la façon dont le monde gère ses ressources naturelles et réagit au changement climatique". (Footprint Network, s. d.)

l'empreinte écologique des activités humaines sur cette dernière (*Earth Overshoot Day*, s. d.). Celui de la Belgique en 2021 était le 30 mars.

Cet épuisement des ressources crée des tensions au sein des entreprises multinationales et engendre une instabilité de l'offre ainsi que de la demande. Cette tendance a conduit à l'écriture, en 1972, du rapport Meadows « *Les limites de la croissance (dans un monde fini)* », à la suite duquel un réel engouement de la part de nombreuses organisations a pu être identifié. En effet, ces compagnies désiraient « une transition vers un modèle de production et de consommation qui dissocie la croissance économique de la consommation des ressources et des répercussions environnementales » (Sauvé et al., 2016). À partir des années 80, différents plans gouvernementaux concernant la gestion des déchets ont vu le jour, comme le Plan wallon des déchets de 1991-1995. Cependant, avec un manque d'objectifs précis, les ressources étaient toujours gaspillées et l'économie linéaire toujours d'actualité, avec une accélération des conséquences sur le climat, une perte de la biodiversité et une augmentation des inégalités sociales⁴ (Sauvé et al., 2016). D'après Rosamond Hutt, rédactrice principale au sein du World Economic Forum : « La température terrestre moyenne de la Terre s'est réchauffée de près de 1 °C au cours des 50 dernières années en raison de l'activité humaine, les émissions mondiales de gaz à effet de serre ont augmenté de près de 80 % depuis 1970 et les concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre sont à leur plus haut niveau en 800 000 ans. » (2016). La croissance de cette économie, représentée par le Produit Intérieur Brut mondial et sa relation avec la consommation des ressources, accélère ces changements climatiques.

Néanmoins, on a récemment observé un changement de mentalité concernant les modes de production et de consommation grâce aux nouvelles générations de consommateurs : Y⁵ et Z⁶. Ces dernières commencent à accorder plus de valeur à l'utilisation des produits qu'au fait de les posséder, proposant une consommation plus « collaborative ». Cette vague a été appuyée par la crise financière de 2008 en installant une insécurité des marchés de l'époque et par le développement de nouvelles technologies, motivant et facilitant les échanges entre producteurs et consommateurs. La frontière entre ces derniers devient d'ailleurs de plus en plus floue. De nombreux enjeux concernant l'approvisionnement des ressources comme la hausse des coûts de leur exploitation, leur raréfaction progressive, une pression démographique, permettent de diriger certaines entreprises vers ce type d'« économie de service » (World Economic Forum, 2014). Elle permettrait de creuser un tout autre aspect en entretenant, réparant, recyclant les produits et leurs composants. Au lieu de finir en déchets, les produits verraient leur durée de vie prolongée et cela permettrait, in fine, de se diriger vers une économie circulaire (Sauvé et al., 2016).

⁴ Bien que le niveau de pauvreté ait diminué.

⁵ La génération Y représente les personnes occidentales nées entre 1980 et 2000, aussi appelées les millenials (Choffat, 2017).

⁶ La génération Z représente les personnes occidentales nées entre fin du XXème siècle et 2010 (Choffat, 2017).

2.2 L'économie circulaire

2.2.1 Origines

Introduite selon le principe d'économie « fermée » par Adam Smith, passant par le développement des termes d'« économie du partage » et d'« économie de la fonctionnalité » par Walter Stahel en 1976, elle ne fut appelée « économie circulaire » qu'en 1990 par les économistes Pearce et Turner (Sauvé et al., 2016). En 2002, le chimiste Michael Braungart et l'architecte William McDonough ont développé le concept « Cradle-to-Cradle », concept clé de cette économie, qui est une manière de concevoir des produits pour que ces derniers, une fois recyclés, puissent être utilisés pour fabriquer ces mêmes produits (MacLennan, 2021 & C2C Community, 2021). Ce n'est cependant que depuis 2010 qu'un intérêt grandissant envers le concept d'économie circulaire a été identifié à travers le monde. Cet intérêt a été marqué par la création d'une fondation appelée « fondation Ellen MacArthur », du nom de sa célèbre créatrice navigatrice britannique. Au sein de cette fondation, ils voient l'économie circulaire comme étant la seule manière de contrer les enjeux de l'économie linéaire, comme ceux vus précédemment, en transformant l'économie actuelle en un système durable et régénératif. Mais qu'est-ce que ce principe d'économie circulaire ?

2.2.2 Définition

Si l'économie actuelle peut être représentée par une ligne continue, l'économie circulaire, comme son nom l'indique, peut l'être sous la forme d'un cycle pour représenter la rétention maximale de la valeur d'un produit (Benachio et al., 2020). La définition qui semble être la plus utilisée est celle de l'ADEME, l'Agence de la Transition Ecologique française : « L'économie circulaire est un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en permettant le bien-être des individus. » Cette économie circulaire est une vision systémique de l'économie. Autrement dit, elle considère l'économie selon une perspective globale, partant de l'extraction des matières premières à l'élimination finale des déchets, en passant par toutes les étapes du cycle de vie d'un produit qu'elle tente d'allonger au maximum (Boluze, 2022). Les ressources sont limitées et l'économie circulaire cherche ainsi à rendre la demande actuelle plus durable. Le concept de « cycle de vie » d'un produit, défini par le dictionnaire Larousse comme étant « l'évolution du comportement d'un produit sur son marché, caractérisée par des phases d'innovation, de croissance, de maturité et de déclin » sera un aspect clé au sein de ce mémoire et reviendra notamment lors de la présentation du secteur d'étude.

La fondation Ellen MacArthur identifie trois principes clés à cette économie, à savoir

- 1) Éliminer les déchets et la pollution
- 2) Garder les produits et matériaux en usage ⁷
- 3) Régénérer les systèmes naturels.

En effet, il ne suffit pas de simplement éliminer les déchets. L'économie linéaire s'en charge déjà en partie. L'objectif est ici de réduire le volume de ces déchets tout en les transformant en ressources secondaires (SPW et Circular Wallonia, 2021). D'après Vincent Aurez et Laurent Georgeault (2019) dans le livre « *Économie circulaire : Système économique et finitude des ressources* », le succès d'une

⁷ Aussi longtemps que possible et en maximisant leur valeur.

économie circulaire peut par ailleurs se mesurer par la croissance de la quantité et de la qualité des stocks de ressources.

En plus d'une augmentation de l'indépendance par rapport aux ressources naturelles, amenée par la réutilisation des ressources comme on le verra par la suite, l'économie circulaire permet d'augmenter le profit des entreprises (McKinsey, 2017). En 2015, le cabinet de conseil américain McKinsey a annoncé une réduction de coûts d'environ 240 milliards de dollars en Europe pour les entreprises participant à la transition circulaire. Il a démontré cela par une réduction de consommation de matières premières d'ici 2030.

Il est cependant assez difficile de définir l'économie circulaire de manière précise et exhaustive : ce concept est relativement nouveau. De plus en plus d'études se réalisent à ce sujet et apportent toujours plus de nouvelles caractéristiques et concepts (Nobre et Tavares, 2020).

2.2.3 Piliers

L'institut national de la statistique et des études économiques, INSEE (2021) a également défini l'économie circulaire comme étant une « organisation d'activités économiques et sociales recourant à des modes de production, de consommation et d'échange fondés sur l'écoconception⁸, la réparation, le réemploi et le recyclage, et visant à diminuer les ressources utilisées ainsi que les dommages causés à l'environnement. » Cette définition cite certains des sept piliers fondamentaux de l'économie circulaire, regroupés suivant 3 domaines comme présenté ci-dessous. Ces piliers interviendront sous différentes formes tout au long des prochaines sections.



Figure 2-II – Trois domaines d'actions, sept piliers. ADEME (s. d.)

Au sein de la dimension en bleu « **offre des acteurs économiques** », quatre piliers y sont identifiés. L'**approvisionnement durable** est, entre autres, basé sur une utilisation de ressources renouvelables, et non pas seulement sur les ressources épuisables.

L'**Éco-conception**, un des axes de ce mémoire, rappelle l'importance de la prise en compte de l'ensemble du cycle de vie d'un produit/service dès sa conception. Cela permet de minimiser les impacts environnementaux de plusieurs manières. Par exemple, réaliser un produit en faisant en sorte qu'il soit

⁸ Le fait de « prendre en compte des impacts environnementaux sur l'ensemble du cycle de vie d'un produit et de les intégrer dès sa conception ». (Ministères Écologie Énergie Territoires, 2020)

facilement démontable à sa fin de vie permettrait une optimisation de la réutilisation des ressources, faciliterait le réemploi de certaines d'entre elles et réduirait par la même occasion la consommation d'énergie normalement prévue pour un tel processus.

À ces deux piliers s'ajoute celui de l'**écologie industrielle** et **territoriale**, aussi appelée la symbiose industrielle (FISSAC, s. d.). L'objectif d'un tel pilier est l'élaboration d'une collaboration innovante entre certaines entreprises, en trouvant des moyens d'utiliser les déchets des uns comme matières premières pour les autres. Ce principe de collaboration entre les acteurs est très important au sein d'une économie circulaire et reviendra à de multiples reprises dans ce travail. Une interconnectivité entre les acteurs devrait également être de mise, permettant de créer des relations plus étroites que celles établies à travers une économie linéaire.

Le dernier pilier de cette dimension concerne l'**économie de la fonctionnalité**, concept qui caractérise une économie, non plus basée sur un statut du consommateur comme étant « propriétaire » mais plutôt « utilisateur » ou « usager » d'un produit/service. (EESC, INT/784, 2016) On ne parle plus de vente d'un bien mais bien de son usage, facilitant encore plus le réemploi de ce bien par d'autres acteurs par la suite (Vaileanu-Paun et Boutillier, 2012). Si l'on parle plus tard de « propriétaire », cela fait référence au producteur, qui serait lui le propriétaire du bien et non plus l'acheteur initial. Cette partie sera détaillée lors de l'analyse du *business model* circulaire, à la section 2.4.

Dans la **seconde dimension (en vert sur le schéma)**, une **consommation responsable** est attendue de la part des consommateurs. D'après la définition⁹ de l'ADEME¹⁰ de l'économie circulaire, les acheteurs devraient faire leurs choix en tenant compte des impacts environnementaux à tous les stades du cycle de vie du produit. L'aspect de collaboration est à nouveau identifié, plus axé sur l'axe de consommation cette fois-ci (economiecirculaire.org, s. d.). Toujours dans cette dimension, un autre pilier est présent : l'**allongement de la durée d'usage** des produits à travers le réemploi, la réparation ou encore la réutilisation. Ces stratégies peuvent être représentées au sein du modèle Butterfly, point 2.2.4.

La troisième dimension (en rouge sur le schéma), concernant la **gestion des déchets**, représente le recyclage des matières et organique. Au début de cette sous-partie, l'économie circulaire a été comparée à un cycle. Deux catégories de cycles peuvent d'ailleurs être identifiées de manière distincte grâce au label Cradle-to-Cradle (C2C Community, 2021) : les cycles techniques et les cycles biologiques.

Les **cycles techniques**, comme on peut le voir sur l'image ci-dessous, concernent l'ensemble des éléments non-biodégradables. On parle ici de métaux et de certains types de plastiques comme, par exemple, les polymères. Ces éléments peuvent être récupérés grâce à un « **take-back system** » et sont remis dans le cycle grâce à l'une des stratégies qui seront présentées au point 2.2.5. Ce système de reprise des éléments est d'ailleurs une caractéristique majeure de l'économie circulaire. L'objectif est de garder les matériaux le plus longtemps possible au sein de l'économie et peut se faire en suivant ce principe, le produit étant repris par son propriétaire. (Chiaroni, 2021).

Les **cycles biologiques**, quant à eux, reprennent les éléments biodégradables. On parle ici du coton, des denrées alimentaires, du bois, etc. La stratégie au sein de ces cycles est de restaurer les nutriments au

⁹ « Un système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en développant le bien-être des individus ». (ADEME, s. d.)

¹⁰ Agence de la transition écologique en France

sein de la biosphère¹¹ en reconstruisant du capital naturel. Elle peut se faire naturellement ou grâce à une intervention humaine (FEM, s. d.).

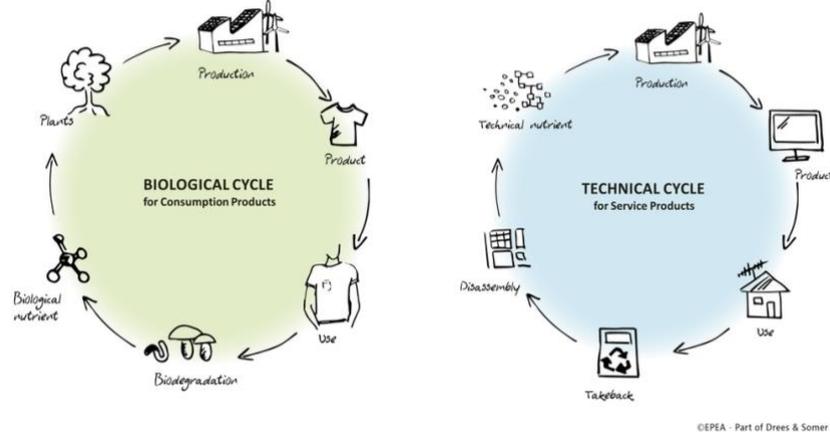


Figure 2-III – Cycles biologiques et techniques. EPEA (s. d.)

2.2.4 Le modèle Butterfly

Développé par la fondation Ellen Macarthur, le diagramme Butterfly, illustré à la Figure 2-IV, est défini comme étant le « diagramme du système d'économie circulaire qui illustre le flux continu de matériaux dans l'économie ». Il permet à l'entreprise de se positionner par rapport au système d'économie circulaire et de savoir dans quelle direction elle devrait se diriger (Chiaroni, 2021). Les cycles biologiques et techniques y sont représentés distinctement : à droite les cycles techniques et à gauche, les cycles biologiques. Il est important d'évaluer à quel cycle correspond le fonctionnement d'une entreprise. Elle peut éventuellement correspondre aux deux simultanément.

Les cycles techniques, repris dans l'aile droite du modèle, représentent les différentes stratégies qui peuvent être appliquées aux biens. Si l'utilisateur ne désire plus utiliser le produit, il peut être vendu ou redistribué à d'autres acteurs sur d'autres marchés. Lorsqu'un produit ne peut plus être réutilisé tel quel, une partie de sa valeur peut être préservée en le remettant à neuf ou en le remanufacturant. Lorsqu'aucune de ces options n'est possible, les matériaux de ce produit peuvent être recyclés. Ces stratégies seront expliquées plus en détail au point 2.2.5. Chaque arc de cercle composant l'aile du modèle ramène le bien à différentes étapes de son cycle de vie. De cette façon, la valeur d'un produit est préservée et sa durée d'utilisation est augmentée. Pour le recyclage, c'est assez différent, avec une décomposition du produit en matières premières. La valeur du produit en elle-même est perdue mais celle des matériaux, ressources qui le constituent, est préservée. Ces dernières seront utilisées dans le début de cycle de vie d'un autre produit. Contrairement à certaines idées véhiculées, l'économie circulaire ne s'arrête donc pas au recyclage. Comme le soulignent Ghisellini et al. (2018) et Hopkinson et al. (2019), le recyclage des déchets n'est qu'une dimension à part entière et n'est d'ailleurs utilisée qu'en dernier recours, après avoir évalué la réalisation des autres stratégies qui permettent de maintenir plus longtemps la valeur du produit. En effet, l'objectif à travers ces cycles est la **valorisation** des ressources : préserver autant que possible la valeur des ressources en les gardant à leur plus haute utilité (Philips, s. d.). Ceci peut être représenté par les cycles, les ailes du papillon, privilégiant les cycles courts caractérisés par une valeur du produit élevée. Plus on s'écarte du centre, plus le produit subit des

¹¹ « Ensemble des écosystèmes de la Terre, correspondant à la mince couche (20 km max.) de l'atmosphère, de l'hydrosphère et de la lithosphère où la vie est présente » (Larousse)

modifications et perd donc de sa valeur, jusqu'à arriver à une valeur nulle au stade du recyclage. Les boucles courtes sont plus rentables pour les entreprises et moins consommatrices de ressources (Aurez et Georgeault, 2019). Les différentes stratégies représentées sur le modèle seront présentées grâce aux « **R-stratégies** », au point 2.2.5 (Delamarche, 2015 ; FEM, 2019).

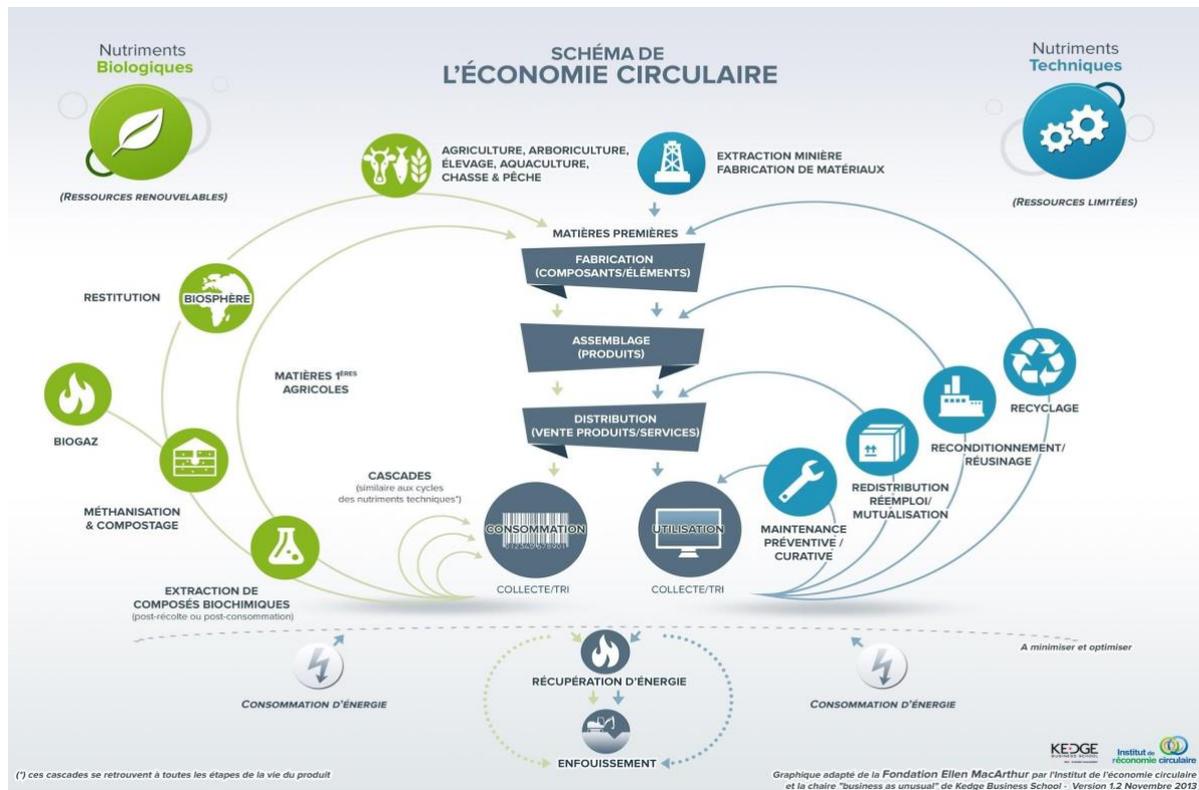


Figure 2-IV – Butterfly Model (FEM, 2012)

Concernant les cycles biologiques, dans la partie gauche du modèle, les matériaux, renouvelables de nature, peuvent créer une valeur additionnelle en étant mis « en cascade », utilisant ces nutriments biologiques dans différents flux de valeur que celui initial. Dans une bioraffinerie, les processus de conversion peuvent produire des produits chimiques et des carburants de grande valeur. Les matières organiques qui ne pouvaient pas être utilisées avant peuvent être décomposées pour en extraire des nutriments précieux (Giraldo, 2017). Cela permettrait que seul un nombre limité de ces matières soient jetées dans les sites d'enfouissement. Les autres seront transformées grâce au compostage et aux biodigesteurs¹² présentés dans l'aile droite du modèle. Par ces techniques, les nutriments seront réintroduits dans la biosphère et enrichissent l'environnement (Carra et Magdani, 2017).

Le modèle Butterfly, à travers ces nouveaux cycles, permettrait la **création d'emplois** pour entretenir les matériaux au sein de ces cycles ainsi qu'une relocalisation des activités, favorisant des cycles courts au sein du cycle de vie des matériaux et revalorisant le **local**, aspect « éteint » depuis la mondialisation. On considère d'ailleurs l'économie circulaire comme une **économie régionale** (Aurez et Georgeault, 2019). Cette augmentation de la proximité entre les acteurs grâce au local rendrait possible un accroissement de la **transparence** entre ces acteurs ainsi que de la **traçabilité** des matériaux et donc du

¹² « Un biodigesteur, ou digesteur biologique anaérobie, sous sa forme la plus simple, est un récipient fermé, hermétique et imperméable, appelé réacteur, à l'intérieur duquel sont déposées des matières organiques, des excréments de ruminants ou des humains, en dilution avec de l'eau. Ce mélange par fermentation anaérobie par des micro-organismes est dégradé en obtenant comme gaz du méthane, un biogaz, et un sous-produit liquide, qui peut être utilisé comme engrais (bioengrais) car il est riche en azote, en phosphore et en potassium. » (Aquaportail, 2019).

partage d'**informations**. En effet, il est plus facile d'établir une collaboration forte entre les personnes de la même région partageant les mêmes valeurs, la même culture (Chiaroni, 2021). Nous verrons à la section 2.4 que ces points ne sont pas encore totalement développés, représentant des challenges pour atteindre une économie totalement circulaire.

Après l'identification du positionnement de l'entreprise entre les « ailes du papillon », cette dernière peut identifier les cercles dans lesquels elle joue déjà un rôle et ceux sur lesquels elle devrait se pencher. Si certains cercles ne sont pas dans le modèle de l'entreprise, comment pourraient-ils apparaître ? Comment augmenter la valeur à travers ces derniers ? (Chiaroni, 2021) L'outil des « R-stratégies », plus théorique, permet ainsi d'identifier les stratégies circulaires qu'une entreprise peut suivre (Chiaroni, 2021).

2.2.5 Stratégies en R

Comme souligné au début de cette partie, une augmentation de l'efficacité des ressources et une réduction des challenges environnementaux à travers les chaînes de valeurs des entreprises pourraient être réalisées grâce à l'économie circulaire (Commission européenne, 2020). Pour atteindre de tels résultats, certaines stratégies peuvent être mises en place. Elles sont appelées les « R-stratégies » et sont réparties au sein de trois types d'approches différentes (Réduire, Réutiliser, Recycler) qui sont trois leviers (Vaudano et Breteau, 2018) permettant de limiter le recours à l'extraction de matières premières à différents moments de la consommation, à savoir : **avant**, en réduisant la quantité de ressources dont on a besoin pour fabriquer le produit (Réduire) ; **pendant**, en ré-utilisant ou réparant les produits par exemple ou **après**, en recyclant les déchets pour réutiliser les composants dans d'autres produits. Ces trois stratégies représentent le concept des 3R et sont étroitement liées avec les trois principes clés de l'économie circulaire, cités plus haut. Ils sont également interconnectés. En effet, réutiliser un produit permet de réduire l'utilisation de ressources (Demestichas et Daskalakis, 2020). Le concept des 3R peut s'étendre jusqu'à celui des 10R, proposant de multiples stratégies dont certaines ont déjà été mentionnées dans le modèle Butterfly. Elles sont détaillées sous forme de tableau à l'Annexe I (Chiaroni, 2021).

Le modèle RESOLVE a une approche similaire à ces stratégies. Ce framework, développé par McKinsey, présente les concepts les plus importants de l'économie circulaire sous la forme de 6 actions : Régénérer, Partager, Optimiser, Boucler, Visualiser et Échanger (Williams, 2016). Ces actions sont vues comme des ingrédients pour obtenir une parfaite transformation circulaire (Chiaroni, 2021). Ce modèle ne sera pas utilisé explicitement dans ce mémoire.

2.2.6 Situation de l'économie circulaire en Wallonie

De nombreuses initiatives de l'économie circulaire peuvent déjà être recensées en Wallonie avant 2021 (comme celles au sein du Plan Wallon des déchets-ressources¹³) mais c'est le 4 février 2021 que la première stratégie de développement de l'économie circulaire a été adoptée par le Gouvernement : **Circular Wallonia** (SPW, 2021). Cette stratégie comprend dix ambitions qui reprennent plus de soixante mesures. Elle suit une double logique de « zéro déchet » et d'économie circulaire (par l'utilisation des autres stratégies). De nombreuses législations ont été introduites concernant la gestion des déchets, accompagnées par les impulsions issues de la Commission Européenne (SPW, s. d.).

¹³ http://environnement.wallonie.be/rapports/owd/pwd/PWDR_3.pdf

L'économie circulaire est en pleine expansion en Wallonie et de nombreux appels à projets ont été lancés, notamment concernant le secteur de la construction.¹⁴ De plus en plus d'emplois circulaires sont créés pour suivre les activités et développer par exemple les stratégies en R. On retrouve ainsi des magasins de vente de matériaux de seconde main, des entreprises de recyclage, etc. En 2019, la RTBF recensait plus de 6000 emplois wallons issus de secteurs circulaires (Noulet, 2019). Cependant encore trop peu d'entreprises wallonnes connaissent ce concept : une enquête menée fin 2021 par le SPW révèle que « 60% des entreprises wallonnes ne connaissent pas du tout le concept, 20% le savent vaguement et 20% connaissent bien le principe » (Clavir, 2022). Ces chiffres indiquent le potentiel en termes de développement lié au secteur de l'économie circulaire mais met aussi en évidence une grosse barrière à surmonter, le succès de cette économie étant lié à la mise en place d'un écosystème ayant atteint une taille suffisante pour fonctionner efficacement (Chiaroni, 2021).

2.3 Secteur de la construction

Pour ancrer le mémoire dans un cas concret, il importait de choisir un secteur intéressant à la fois au niveau du potentiel d'utilisation de l'économie circulaire et d'application du numérique. Cette section décrit pourquoi notre choix s'est porté sur le secteur de la construction et caractérise ce secteur.

2.3.1 Introduction

Selon Yeheyis et al. (2013), l'industrie de la construction serait responsable de plus de 30% de l'extraction des ressources naturelles et de 25% des déchets solides générés à travers le monde. Adoptant principalement un modèle d'économie linéaire, la plupart des bâtiments construits ne peuvent pas être déconstruits facilement afin d'y récupérer certaines ressources (briques, tuiles, broyat de béton, etc.). Celles-ci deviennent inutilisables à la fin de vie du bâtiment et de nombreuses opportunités sont donc gâchées (Bamb, 2020). D'après Isobel Lee (2019), journaliste et rédactrice spécialisée dans l'immobilier, le secteur de la construction est l'un des principaux adversaires des partisans de l'économie circulaire, étant le plus grand consommateur de ressources naturelles et finies et le plus grand producteur de déchets. Il est assez difficile de trouver le taux exact de déchets de construction produits en Belgique. En effet, ceux-ci ne sont souvent pas comptabilisés dans les chiffres émis et publiés à la population. En France, l'ADEME relevait en 2020 une production de 46 millions de tonnes de déchets par an au sein des cycles de vie des bâtiments : 51% associé à la démolition, 36% à la rénovation et 13% à la construction ! Au sein de l'Union Européenne, 5 à 12% des émissions de gaz à effet de serre nationales proviennent de l'extraction de matériaux et de la production de produits de construction (Carra et Magdani, 2017). À cela s'ajoutent toutes les étapes de la construction. L'association « Bâtiments Bas Carbone » (s. d.) a ainsi évalué le secteur comme étant celui « à la plus forte empreinte carbone », comptant une émission de 1.5 tonnes de CO₂ par mètre carré pour un nouveau bâtiment et sur une durée de 50 ans. Une étude a démontré qu'une vraie réflexion du secteur sur l'utilisation de ces matériaux pourrait réduire 80% de ces émissions (Carra et Magdani, 2017), amenant le secteur de la construction comme un domaine à haut potentiel pour sa transformation circulaire (Econometrics, 2018). Notons aussi la sous-utilisation de bâtiments notamment de bureau, parfois occupé à moins de 50% de leur capacité et que la pandémie a encore amplifié. Des optimisations d'usage sont possibles mais ne constitueront pas le cœur de ce travail qui se focalise plus sur les phases en amont et aval de l'usage (Econometrics, 2018).

¹⁴ Chantiers et services circulaires (2021) et Déploiement de l'économie circulaire en Wallonie dans le cadre du Plan national de relance et de résilience - métallurgie et construction (2021).

Grâce à une augmentation significative du nombre de recherches sur l'économie circulaire dans le secteur de la construction, **on assiste à un début de prise de conscience. Mais nous n'en sommes qu'au prémisse. La mise en œuvre y est assez lente**, justifiant par ailleurs le choix de l'analyse de ce secteur pour ce mémoire (Benachio et al., 2020). En effet, la plupart des parties prenantes ne comprennent pas comment les concepts peuvent être appliqués de manière concrète au secteur de la construction. Cela a comme conséquence de ne pas positionner le secteur de la construction comme l'un des secteurs les plus développés au sein des activités circulaires (Econometrics, 2018).

C'est aussi un secteur à haut potentiel d'économie circulaire, en gardant les ressources en circulation le plus longtemps possible grâce aux « R-strategies », permettant ainsi leur réemploi et l'utilisation des éléments des bâtiments à différents niveaux de finition. Pour cela, certains considèrent les bâtiments comme des banques de matériaux pour d'autres bâtiments, existants ou futurs. Le projet BAMB, Building As Material Banks, a vu le jour grâce à quinze partenaires de sept pays européens avec comme objectif de valoriser les matériaux au sein des bâtiments. Grâce à la création de passeports matériaux connectés, ils pourraient augmenter la valeur des matériaux en rallongeant leur cycle de vie à l'aide d'une des « R-strategies » (ou plusieurs !). En Annexe V, se trouve un prototype d'une plateforme composée de passeports matériaux proposé par ce projet. Il est possible de le retrouver sur leur site internet (Bamb, 2020). Chaque passeport matériaux, comme on peut l'identifier sur l'image, regroupe différentes informations concernant le matériau en question. Dans ce cas-ci, on peut y retrouver le nom du produit, la marque, le producteur et le « Global Trade Item Number », qui est un code unique permettant de retrouver le produit (GTIN, s. d.). L'aspect des passeports matériaux sera repris plus tard dans ce mémoire, au sein de la partie Analyse.

Cependant, l'industrie de la construction est un secteur dans lequel les innovations se font plus difficilement qu'ailleurs. **C'est notamment un des secteurs dont la transformation numérique est la moins avancée**. Cela vient du fait qu'il s'agisse d'un secteur très traditionnel où les bâtiments sont souvent des projets uniques, avec des chaînes d'approvisionnement impliquant de nombreux acteurs et des durées de vie assez longues. Cette faible adoption du numérique est cependant intéressante car elle offre un champ assez vaste de possibilités à investiguer par rapport à d'autres domaines plus avancés.

2.3.2 Secteur de la construction - définitions, acteurs et limitations

L'écosystème qui sera traité tout le long de ce mémoire regroupe le secteur de la construction et de la déconstruction dans son ensemble, reprenant ainsi l'ensemble du cycle de vie des bâtiments et tous les acteurs qui interviennent. Le cycle de vie d'un bâtiment s'estime à 60 ans dans les bureaux d'étude au sein de l'immobilier (SuReal, 2022) et peut être représenté de cette manière en économie linéaire :

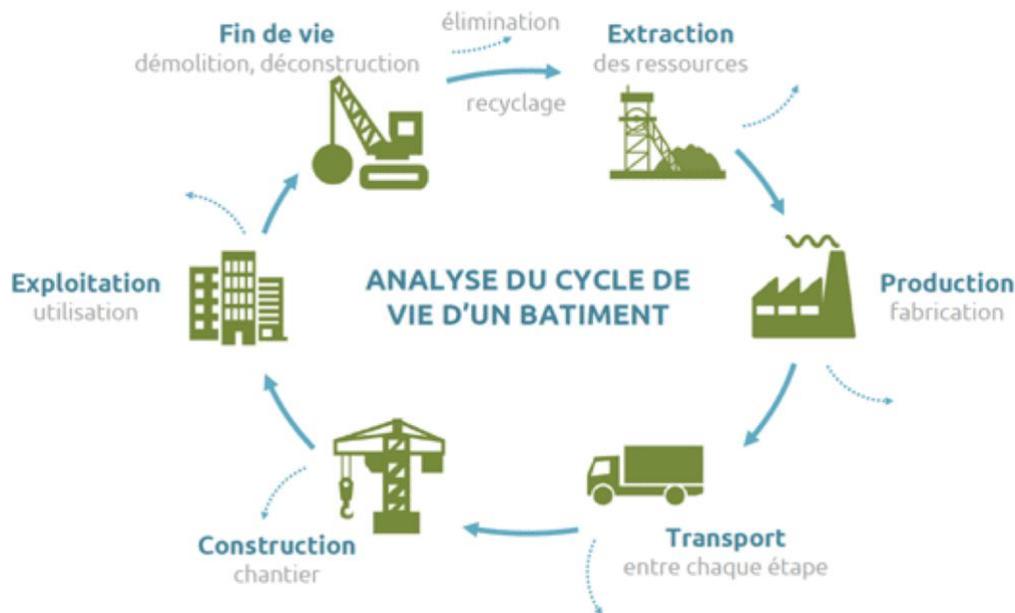


Figure 2-V – Cycle de vie « linéaire » d'un bâtiment. Izuba (2017).

NB: Dans ce mémoire, je me focalise sur une partie des activités du secteur de la construction, à savoir la construction de bâtiments (Econometrics, 2018). Ces derniers sont considérés ici comme étant des produits, des assemblages de ressources qui ont un début et une fin de vie. Le terme « bâtiment » dont il est question ici regroupe toutes les sortes de bâtiments : les immeubles divers, maisons individuelles, etc.

Comme représenté ci-dessus, le cycle de vie d'un bâtiment peut être représenté par 6 étapes. La première est l'extraction des ressources qui seront transformées en matériaux à l'étape suivante, l'étape de production. Une fois les matériaux produits, ils sont transportés jusqu'au chantier, où la construction du bâtiment peut commencer. Les travaux terminés, le bâtiment est utilisé par ses occupants jusqu'à ce qu'il soit démoli ou déconstruit. La démolition et la déconstruction sont deux aspects différents car cela tient compte de la réutilisation des matériaux, d'où son importance pour l'économie circulaire. En effet, selon le dictionnaire Larousse, la démolition est « l'action de démolir, d'abattre une construction, de ruiner, de mettre en pièces ». Le verbe « ruiner » caractérise correctement la valeur finale des matériaux au sein d'un bâtiment démoli, c'est-à-dire nulle. La déconstruction, quant à elle, est « le démontage sélectif d'installations techniques ou de certains éléments d'une construction, afin de valoriser les déchets et de réduire les mises à la décharge. » (Larousse). Cette définition souligne la préservation des matériaux, ou du moins, la réduction de la production de déchets. Les flèches bleues en pointillés sur le précédent schéma représentent d'ailleurs la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ émises à chaque étape.

Au sein de ces cycles, différents acteurs entrent en jeu (decennale, s. d.). La liste suivante, non exhaustive, identifie les principaux acteurs qui interviennent dans la chaîne de valeur :

- Le maître d'ouvrage, qui est le client du projet ;
- Le maître d'œuvre, qui participe à la conception du projet et à la gestion du chantier ;
- L'architecte, qui conseille le client quant à la conception du bâtiment, l'aménagement des espaces intérieurs et extérieurs ;
- Les fournisseurs, qui fournissent les matériaux pour la réalisation du projet ;
- Un Bureau d'Étude techniques, qui analyse la faisabilité du projet ;

- Un économiste, qui réalise l'estimation financière du projet ;
- Les entreprises du bâtiment, qui sont responsables des travaux de construction, éventuellement chapeautés par des entreprises générales ;
- Les corps de métier du « Gros œuvres » (Ex : maçon.)
- Les corps de métier du « Second œuvre » (Ex : plombier, technicien.)
- Les corps de métier qui assurent la maintenance des *assets*¹⁵ lors de l'utilisation du bâtiment.

Cette chaîne de valeur sera présentée au point 3.2.

2.3.3 Limitations

La phase d'élimination et de recyclage n'est pas considérée comme étant une étape à part entière. Elle apparaît au-dessus de la flèche allant de « la fin de vie » du bâtiment à « l'extraction de nouvelles ressources ». D'après G.L.F. Benachio et al. (2021), l'économie circulaire au sein de l'industrie de la construction peut être définie comme « l'utilisation des pratiques, à toutes les étapes du cycle de vie d'un bâtiment, pour conserver les matériaux le plus longtemps possible en circuit fermé, pour réduire l'utilisation de nouvelles ressources naturelles dans un projet de construction. » Actuellement, la majorité des études se réalisent pourtant sur une seule étape du cycle de vie des bâtiments, celle de la « Fin de vie », comme représenté dans la Figure 2-V. Comme le souligne le rapport *Circular Wallonia* (SPW, 2021), pour anticiper la production de déchets, **il est nécessaire d'attaquer le problème en amont des études mais également en cours de chantier**. En effet, de nombreuses ressources y sont perdues, comme l'avait démontré l'ADEME en chiffrant le taux de déchets à 13% lors de la construction des bâtiments. Ces pertes peuvent être matérielles ou non comme les surstocks de matériaux, les délais, les défauts de produits, etc.

Pour le passage du secteur de la construction vers une économie circulaire, d'autres challenges propres à ce secteur existent, comme la **facilité de la démolition**. En effet, les parties voient encore le bâtiment comme un « bloc » difficile à déconstruire. Ce processus étant plus facile, les entrepreneurs y voient un gain de temps et donc d'argent. Cependant, la perte est importante. Les ressources sont détruites et leur valeur est rendue nulle, ne permettant pas la revente de ces matériaux par la suite. Certains bâtiments sont d'ailleurs démolis pour plus de facilité économique ou de design, alors qu'ils auraient pu être simplement rénovés (Thimister, 2022).

2.3.4 Situation en Wallonie dans le secteur de la construction

D'après le rapport *Circular Wallonia* (SPW, 2021), le secteur de la construction en Wallonie comptait plus de 80.000 emplois directs en 2016 et représentait 5,4% du PIB, considérant le secteur comme un réel poids lourd de l'économie mais également comme étant l'un des secteurs avec « le plus haut potentiel de création de valeur ajoutée et d'emplois ».

Différentes mesures et actions sont proposées au sein de ce rapport. Le point 24 du rapport *Circular Wallonia* concerne d'ailleurs ce qui est étudié plus loin dans ce mémoire au sein de la partie analyse (3), à savoir « Développer des outils permettant de concevoir en amont, de manière circulaire, le bâtiment et les infrastructures et favoriser la déconstruction sélective et le réemploi des matériaux ». Interreg a

¹⁵ Actifs.

identifié que seulement 1% des matériaux en Europe Nord-Occidentale étaient réutilisés (Interreg NWE, 2022) ! Ainsi, l'objectif recherché par les autorités wallonnes compétentes en la matière, est de développer un inventaire de pré-déconstruction qui puisse répondre aux directives « déchets » en droit wallon. Il aurait comme objectif de faciliter l'identification de ce qui est à préserver / réutiliser lors de tout travaux, que ce soit au cours d'une rénovation ou d'une déconstruction. Mais cet inventaire doit se baser sur le **potentiel de réemploi** des matériaux (Bruxelles Environnement, 2020). Certains matériaux ne peuvent être réutilisés pour diverses raisons (comme des aspects de sécurité ou sanitaires). Un guide¹⁶ a été développé en 2020 par Morgane Deweerdt (CSTC) & Marilyn Mertens (Bruxelles Environnement) pour aider à l'identification de ce potentiel de réemploi.

2.4 *Business models* circulaires

Pour mettre en place cette nouvelle vision engendrée par l'économie circulaire, de nouvelles manières de travailler et de nouveaux *business models*¹⁷ doivent être développés (Hourse, 2019). En effet, au sein d'une économie linéaire, l'utilisateur jette le produit à sa fin de vie. La création de nouveaux *business models* s'appliquant aux différentes étapes¹⁸ du cycle de vie du produit est nécessaire. Dans l'Annexe II, un *business model canvas* BMC¹⁹ typique issu de l'économie linéaire est représenté. Ce dernier identifie des ressources et la valorisation via des partenaires et canaux mais ne se projette pas au-delà de l'utilisation du service proposé et de la réutilisation possible de ressources : il se contente d'identifier les ressources nécessaires à la fourniture du service. Au sein de cette section, nous analyserons un *business model* circulaire proposé par le réseau d'experts CIRCULAB, un studio de design indépendant et cabinet de conseil en stratégie, qui aide des entreprises à créer des solutions régénératrices (Circulab, 2022). Ce canevas apporte des éléments d'économie circulaire que nous exploiterons dans la suite de ce travail.

2.4.1 *Business model* canevas circulaire

Ce canevas reprend les neuf cases principales du BMC linéaire. Outre le fait qu'il détaille de manière beaucoup plus précises les types de ressources (naturelles, techniques et énergétiques), il ajoute plusieurs éléments importants :

Usage suivant : la capture des ressources permet de réduire l'impact des produits et d'identifier quelle serait « sa prochaine destination » après son usage. Contrairement aux modèles linéaires, où la valeur associée à un produit ou à un service est perdue après avoir été utilisée par un client, les modèles circulaires utilisent des stratégies, les « R-stratégies » pour garder cette valeur au sein du cycle de vie du produit (Carra et Magdani, 2017). Ces stratégies sont identifiées au sein de cette case. Pour faciliter cette identification, la proposition de valeur et la conception du bien doivent idéalement avoir été pensées dans cette optique.

¹⁶ https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2021-03/fr-fcrbe_wpt2_d12_un_guide_pour_lidentification_du_potentiel_de_r%C3%A9emploi_des_produits_de_construction.pdf

¹⁷ « Un **business model**, ou modèle économique, explique précisément comment l'entreprise va créer de la valeur et gagner de l'argent. » (Facon, 2021).

¹⁸ A savoir les 3 étapes des « R-Stratégies » : la conception, l'utilisation et la post-utilisation.

¹⁹ « Le **business model canvas** est une méthode qui permet de construire facilement son modèle économique et de le présenter avec clarté. » (Facon, 2021).

Impacts positifs et négatifs : des impacts sociaux et environnementaux y sont identifiés de manière critique, permettant d'impliquer d'autant plus le client et d'identifier les avantages qu'il acquiert par ce *business model* circulaire. Ceci peut inclure des **effets « rebond »**.

2.4.2 Changement de perspective

Des changements au sein des *business models* ont pu être identifiés et peuvent s'opérer suivant deux focus distincts (Poncelet, 2022) : sur la combinaison Produits-Services (P-S) « Product-as-a-service » et sur la fin de vie des produits « End-of-Life ».

Le premier changement reprend le principe d'une économie de service, d'usage. Le producteur va fournir un service à l'utilisateur et la propriété d'un bien lui restera. Contrairement à l'économie linéaire, ce **propriétaire** a une certaine **responsabilité** quant à son bien et un grand nombre d'opportunités peuvent en découler dans le secteur de la construction (Aurez et Georgeault, 2019). En plus de concevoir des produits qui vont tenir plus longtemps, les ressources seront ainsi gérées de manière plus efficace par une personne experte, le producteur.

Ensuite, les entreprises peuvent se focaliser sur la fin de vie des produits, « end-of-life ». Le réemploi est ici central. Dans le secteur du bâtiment, on ne parlera plus de démolition mais de déconstruction ou de désassemblage, dans la mesure du possible. Un exemple d'entreprise reprenant les matériaux des bâtiments post-déconstruction est Rotor DC. Cette entreprise sera présentée et analysée dans la section « Application au secteur de la construction ». De nouveaux *business models* devront d'ailleurs être créés pour ces entreprises s'occupant des matériaux secondaires.

2.4.3 Collaboration

Bien que les termes « business » et « collaboration » soient normalement opposés (le *business* prônant la compétition entre les entreprises), Ana Birliga Sutherland & Caspar von Daniels (2021), deux spécialistes de l'économie circulaire, soutiennent que la collaboration serait au centre des *business models* circulaires. Grâce à une coopération entre les acteurs, des modèles économiques à long terme (vs court terme en économie linéaire) pourront être créés et pourront installer une stabilité au sein du marché. Il existe un outil permettant de représenter plus en détails cet aspect de collaboration au sein d'une entreprise/secteur et créer de la valeur : la **chaîne de valeur**. Celle-ci sera utilisée dans la section 3.2 comme outil d'analyse pour, notamment, identifier ces relations entre les acteurs.

2.4.4 Limitations et défis

Une difficulté majeure relative à ces *business models* circulaires vient du fait que pour mettre en place les stratégies en R, un nombre important d'acteurs et d'interactions doivent être intégrées par rapport à un *business model* linéaire.

Comme vu précédemment, pour qu'un produit passe facilement au sein de la case « usage suivant », l'idéal est de travailler directement sur sa conception. Cependant, les concepteurs de produits ne s'occupent pas du recyclage et n'ont pas de réelles motivations pour étudier la fin de vie du produit (Chiaroni, 2021). Une collaboration entre les acteurs est donc fondamentale pour permettre l'intégration de l'ensemble des cycles de vie des produits (UCL, 2014). Au sein d'une économie linéaire, les

informations sont difficilement partagées pour se protéger de la compétition. Pour qu'une telle collaboration soit possible, il est nécessaire d'avoir un **système de partage d'informations**, un des plus grands défis actuels de l'économie circulaire. Ces informations peuvent être de différentes catégories. Dans le secteur de la construction, on peut par exemple retrouver toutes les données concernant les matériaux, leur origine, leur fournisseur, leurs caractéristiques (au niveau de la qualité ou encore de leur impact environnemental), leur emplacement actuel, leur utilisation et ce qu'ils pourraient devenir en fin de vie (SuReal, 2022). Leur emplacement actuel renforcerait la **traçabilité** des matériaux qui n'est pas négligeable pour rendre circulaire le secteur de la construction. Cela permettrait une meilleure identification des opportunités pour la case « usage suivant » du BMC circulaire vu au point précédent. Tracer les flux des matériaux amènerait une certaine **transparence** entre les acteurs et permettrait donc de renforcer cette collaboration instaurant une réelle confiance entre eux (Matthews, 2017). La mise en œuvre de ces besoins nécessite de s'appuyer sur des technologies numériques spécifiques et il importe de pouvoir identifier les plus adéquates en veillant également à leur soutenabilité.

L'INRS²⁰ rejoint ce besoin de partage d'informations. Comme présenté au début de cette section, de nouvelles stratégies et processus apparaissent. Cependant, lors de la mise en œuvre de ces nouveaux procédés, certains risques existent et peuvent **mettre en danger la sécurité et la santé des employés**. Prenons par exemple le recyclage des matériaux de construction. Lors de la démolition d'un bâtiment, l'idéal serait qu'une majorité des matériaux, au lieu de se retrouver dans des sites d'enfouissement²¹, soient recyclés. Mais une quantité importante ne peut l'être pour des raisons de sécurité et de contamination comme les batteries, les produits à base d'amiantes, etc. (Chiaroni, 2021). Pour gérer ces processus et les risques associés, de nouvelles connaissances et compétences sont ainsi requises dans les équipes de projets des bâtiments.

D'autres défis et obstacles au *business model* circulaire, et à l'économie circulaire, existent : ils peuvent être liés à l'adoption, à des aspects de réglementation ou juridiques. Ceux-ci ne seront pas étudiés directement dans le cadre de ce mémoire qui se concentre sur le partage des informations. Pour faciliter la réalisation de ce type de modèles économiques, il faudrait relever ces barrières et c'est ce sur quoi nous allons nous pencher dans cette prochaine partie, notamment grâce à l'utilisation du numérique.

²⁰ « L'Institut National de Recherche et de Sécurité conduit des programmes d'études et de recherche pour mieux connaître les risques professionnels, analyser leurs conséquences sur la santé du salarié, et proposer des moyens de prévention. » (INRS, s. d.)

²¹ Le site d'enfouissement est « un lieu aménagé pour stocker les déchets ultimes, à savoir les déchets qui ne peuvent être ni recyclés ni réutilisés ». (Indiz, 2021).

3. Analyse

Après avoir défini l'économie circulaire et certaines de ses barrières au sein des nouveaux modèles économiques, cette partie va proposer une démarche pour y répondre, notamment en apportant des solutions numériques.

3.1 Approche méthodologique

Afin de répondre à notre question de recherche

« Comment les technologies numériques peuvent-elles soutenir le partage d'informations afin d'accélérer la transition circulaire ? »

dans un contexte donné, nous proposons la démarche suivante:

- situer le **niveau de maturité** du domaine en question, à la fois au niveau de l'économie circulaire et de l'adoption du numérique;
- sur base d'**informations collectées** par certaines parties prenantes du domaine étudié, procéder au remplissage de la **chaîne de valeur** circulaire et/ou du *business model* circulaire;
- analyser, à travers ce(s) canevas, les **besoins/barrières** et les **points à mettre en œuvre** pour soulever ceux-ci;
- identifier les **technologies numériques** intéressantes et potentiellement utilisables (*Hype Cycle*) pour mettre en œuvre ces points.

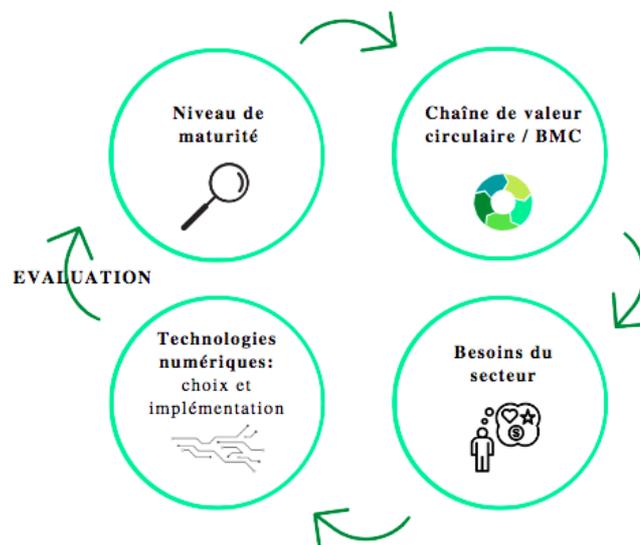


Figure 3-1 – Démarche pour répondre aux besoins d'un secteur pour être circulaire.

Ce processus n'est pas linéaire mais itératif, pour correspondre aux concepts de l'économie circulaire. Chaque étape sera mise en œuvre de manière progressive. Ce système étant dynamique, une évaluation constante doit être réalisée. Ici, nous traiterons un certain type de barrières aux modèles économiques et chaînes de valeur. L'échange d'informations représentera ainsi les fondations de la démarche. Il serait cependant intéressant, une fois les technologies numériques identifiées, de voir si d'autres barrières ne pourraient pas être soulevées grâce à ces innovations et voir quelles seraient les prochaines stratégies à suivre.

La suite de cette section décrit les différentes étapes de notre méthodologie. Celle-ci est illustrée sur un cas d'étude du secteur de la construction décrit au point 2.3.

3.1.1 Situer la maturité

Afin de situer la maturité, on peut se baser sur des indicateurs publiés dans la littérature. Ainsi la maturité numérique est régulièrement mesurée par des études spécialisées et des grandes entreprises de conseils. Plus récemment, la maturité en économie circulaire fait aussi l'objet de classements. Ces évaluations sont en partie arbitraires en fonction de la définition des index utilisés (García-Sánchez et al., 2021). Il peut aussi y avoir une variation dans un domaine entre les pays et types d'entreprises. Le but est surtout de se situer globalement pour voir les acquis et défis dans ces deux thématiques. La Figure 3-II donne un exemple de catégorisation combinant des informations de maturité numérique fournie par le baromètre digital wallon (Digital Wallonia, 2020) et de maturité de l'économie circulaire selon l'index CEBIX d'une publication récente (García-Sánchez et al., 2021).

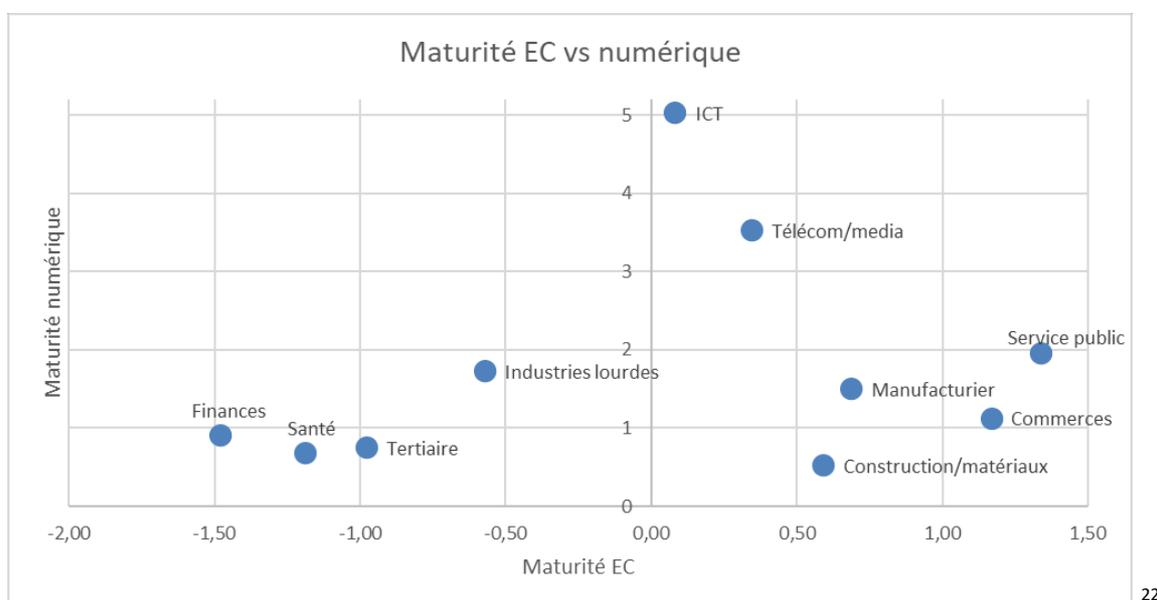


Figure 3-II – Maturité numérique vs EC. Ponsard (2022).

Concernant la maturité numérique du domaine de la construction, ce secteur serait l'un des moins avancés selon le baromètre digital wallon développé en 2020. Quant à la maturité circulaire, le secteur se trouve dans une moins mauvaise position, bien qu'il doive réaliser encore plus de transformations circulaires étant l'un des secteurs consommant le plus de matières premières.

Pour positionner plus finement un cas concret, il convient d'analyser à quel niveau on se situe entre une économie purement linéaire et une économie ayant atteint un fort niveau de circularité. Dans notre cas, comme discuté dans la section 2.3, les cycles de vie des bâtiments sont actuellement linéaires, bien qu'ils soient majoritairement représentés sous la forme de cercles (Figure 2-V). En effet, le recyclage est souvent réalisé. Cependant, le recyclage n'est pas considéré comme étant à lui seul une stratégie permettant une économie circulaire complète et ne permet pas de refermer complètement la boucle. Pour appuyer ce propos, le graphique ci-dessous représente la valeur d'un bâtiment le long de son cycle de vie d'un point de vue linéaire.

²² EC = Économie circulaire

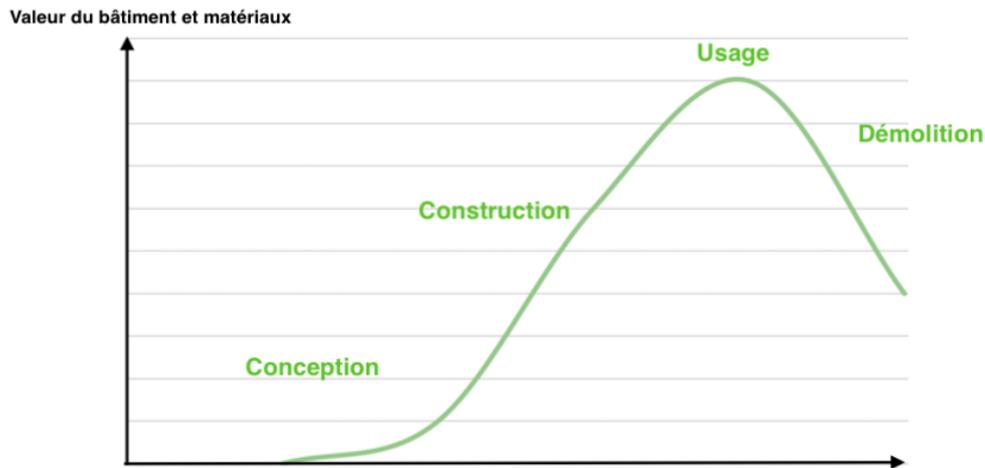


Figure 3-III – Valeur d'un bâtiment le long de son cycle de vie.

Une fois la démolition entamée, la valeur du bâtiment ainsi que celle des matériaux sont réduites. Le recyclage permet de donner de la valeur aux ressources mais perd en cours de route celle des produits, valeur beaucoup plus intéressante. Pour valoriser ces produits, il faudrait maintenir la courbe de valeur à son apogée et pendant aussi longtemps que possible. Cela peut notamment être fait grâce aux stratégies qui composent le modèle circulaire, présentées dans la partie précédente.

Ces éléments confirment que le domaine de la construction est un cas d'étude très challengeant mais aussi très intéressant pour répondre de manière optimale à la question de recherche.

3.1.2 Élaborer la chaîne de valeur circulaire

Pour analyser la transition vers un modèle circulaire et la manière de le soutenir par des outils efficaces (notamment numériques), nous utiliserons la **chaîne de valeur circulaire**. En insérant les actions, intervenants et ressources nécessaires le long du cycle, il sera possible d'identifier les barrières, de repérer les opportunités pour relever ces défis et les ressources à mettre en œuvre pour y arriver. Le canevas (Annexe IV) vient également de *Circulab*, l'entreprise qui a développé le *business model* canevas circulaire présenté à la section 2.4.

Cette étape nécessite de consulter des experts du métier parmi les parties prenantes qui ont été identifiées dans la chaîne de valeur. Il faut veiller à ce que des acteurs intervenant aux différentes étapes soient bien consultés, en particulier de nouveaux acteurs qui ne seraient pas présents dans une chaîne linéaire ou dont les rôles sont amenés à évoluer (gestion du changement).

Dans notre cas, plusieurs acteurs ont été contactés pour obtenir les informations manquantes et réaliser cette chaîne de valeur. Ces acteurs sont des experts dans le secteur de la construction. Dans un premier temps, de nombreuses informations ont été obtenues pendant la réalisation de mon stage de dernière année au sein de l'entreprise SuReal²³. Que ce soit au sein d'échanges en interne avec des collègues, des ingénieurs architectes, ou au cours de séminaires auxquels j'ai participé. Durant ces séminaires, j'ai pris notamment connaissance de deux entreprises, présentées dans la chaîne de valeur circulaire : COMET (avec le projet Multipick) et ROTOR. Ces deux entreprises sont des acteurs clés par rapport à de

²³ SuReal est une société indépendante de consultance qui aide les entreprises à « rendre les bâtiments et les projets urbains plus durables tout en gardant à l'esprit le bien-être de leurs occupants », comme ils le mentionnent sur leur page d'accueil web.

nouvelles activités circulaires. Elles seront décrites par la suite. Concernant ces entreprises, des échanges / interviews ont été réalisés avec des employés, spécialisés dans ces recherches :

- Olivia Noël, gestionnaire de projet chez ROTOR Asbl
- Gregory Lewis, ingénieur en géologie au sein du projet Multipick.
-

La construction des canevas est détaillée dans la section 3.2.

3.1.3 Caractériser les besoins du secteur pour une transformation circulaire

Grâce à la création de la chaîne de valeur circulaire d'un bâtiment, il est possible de réaliser une analyse plus détaillée notamment en ce qui concerne les flux d'informations et leurs propriétés (temps de conservation, qui y a accès, confidentialité, intégrité, disponibilité, traçabilité...) et d'identifier certains points d'attention pour l'optimisation d'un tel processus et la réalisation des stratégies circulaires. Il est d'ailleurs intéressant d'analyser, pour chaque stratégie, quels sont les acteurs et informations nécessaires.

Pour le secteur de la construction, nous verrons également à la section 3.2 que de nombreux besoins d'interactions et d'échanges d'informations sont visibles à travers cette chaîne. Comme cité au point 2.4, ces éléments sont des barrières aux *business models* circulaires et cette sous-partie de mémoire se chargera de les analyser et de réfléchir à une solution, à savoir un inventaire partagé. Cet inventaire devra répondre aux besoins de ces échanges, comme par exemple, en étant infalsifiable.

Grâce à l'échange avec Olivia Noël, j'ai pris connaissance d'un projet lancé par le CSTC²⁴ qui s'appelle « Digital deconstruction » et dont une première ébauche devrait sortir en juin 2022, après la remise de ce mémoire. Les informations collectées à ce sujet sont donc issues d'un échange réalisé avec Éléonore de Roissart, chercheuse spécialisée dans le *waste management* au CSTC. La sous-section « Vers un inventaire partagé » sera ainsi créé en se reposant sur cet échange et en établissant les limites qui ont pu y être identifiées.

3.1.4 Identifier les technologies numériques

L'identification des besoins d'interactions, dans ce cas-ci, va permettre de réaliser une analyse et de proposer les technologies numériques existantes les plus adéquates pour répondre aux exigences prédéfinies du secteur. Cette recherche ne sera pas réalisée de manière précise. Pour l'affiner, d'autres méthodes et outils devront être mis en œuvre en aval. Mais l'identification des exigences de cet inventaire permettront de mettre en avant plusieurs technologies qui pourraient permettre de développer un tel système. Ici nous avons essentiellement utilisé des méthodes existantes. Le choix des technologies se base notamment sur l'article « Information and Communication Technology Solutions for the Circular Economy », écrit par Konstantinos Demestichas et Emmanouil Daskalakis (2020). Ils ont proposé et analysé plusieurs technologies qui fonctionneraient comme des outils permettant de se diriger vers une économie circulaire. Pour compléter cette référence s'ajoute le cours de « Technologie digitale » suivi l'année passée à l'Université de Namur et donné par la professeure Sarah Bouraga. Une fois ces solutions trouvées, il sera intéressant d'analyser la prédisposition des acteurs à implémenter de telles technologies émergentes grâce au *Hype Cycle*. D'après une traduction française de l'article

²⁴ Centre Scientifique et Technique de la Construction.

“Understanding Gartner’s Hype Cycles” écrit par l’entreprise Gartner (2018) elle-même, les “*Hype Cycles* caractérisent la progression typique de l’innovation, de l’enthousiasme excessif à la compréhension finale de la pertinence et du rôle de l’innovation dans un domaine du marché, en passant par une période de désillusion.” L’exemple de l’*Hype Cycle* ci-dessous porte sur les stratégies au sein des chaînes d’approvisionnement et la situation des technologies émergentes.

Hype Cycle for Supply Chain Strategy, 2021

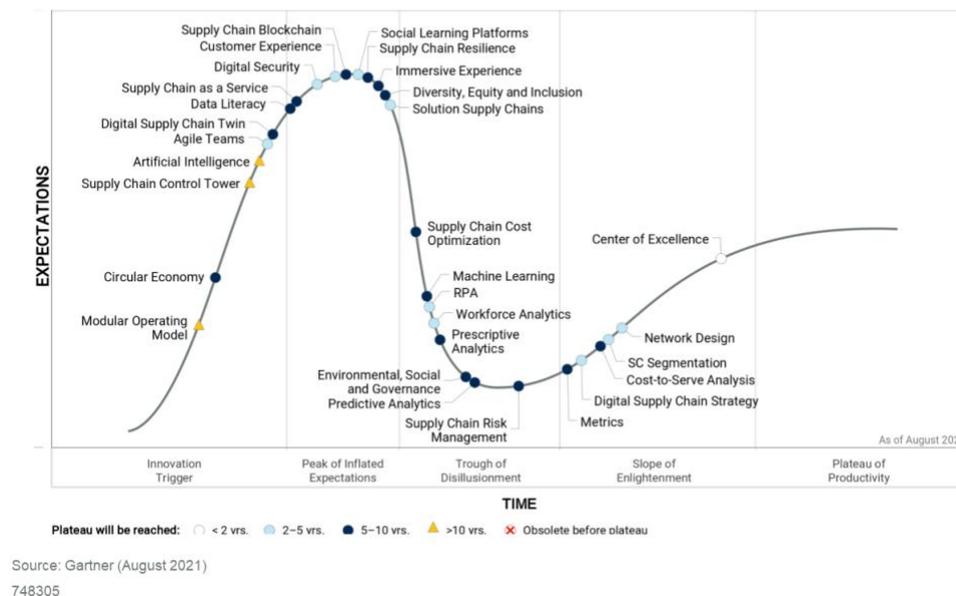


Figure 3-IV – Hype Cycle exemple. Gartner (2021).

Grâce à ce principe, on peut essayer d’analyser le niveau de motivation du secteur de la construction pour accepter de telles innovations malgré certains inconvénients, comme les coûts engendrés. Cela dépend évidemment du type d’organisation, du secteur. Le secteur de la construction peut être considéré comme étant de Type C²⁵ (**conservateur**) concernant l’adoption d’innovations. Ce domaine est en effet assez conservateur et ne serait ainsi prêt à accepter l’innovation qu’une fois arrivée sur le plateau de productivité. Comme soulevé au point 3.1.1, ce secteur a un niveau de maturité des technologies assez faible, identifiant, en moyenne, un faible niveau d’adoption des technologies, notamment numériques, par les acteurs de ce domaine.

Cette analyse sera suivie d’une discussion reprenant certains points à ne pas négliger, comme l’aspect environnemental de ces technologies, balançant entre les émissions carbone sauvées et celles créées.

3.2 Application au secteur de la construction

3.2.1 L’économie circulaire dans le secteur de la construction - chaîne de valeur

La description de cette chaîne de valeur se fait en plusieurs points. Dans un premier temps, il est intéressant de relever ses étapes, en comparaison avec le modèle présenté dans la section 2.3.

²⁵ Identification des différents types à l’Annexe VI.

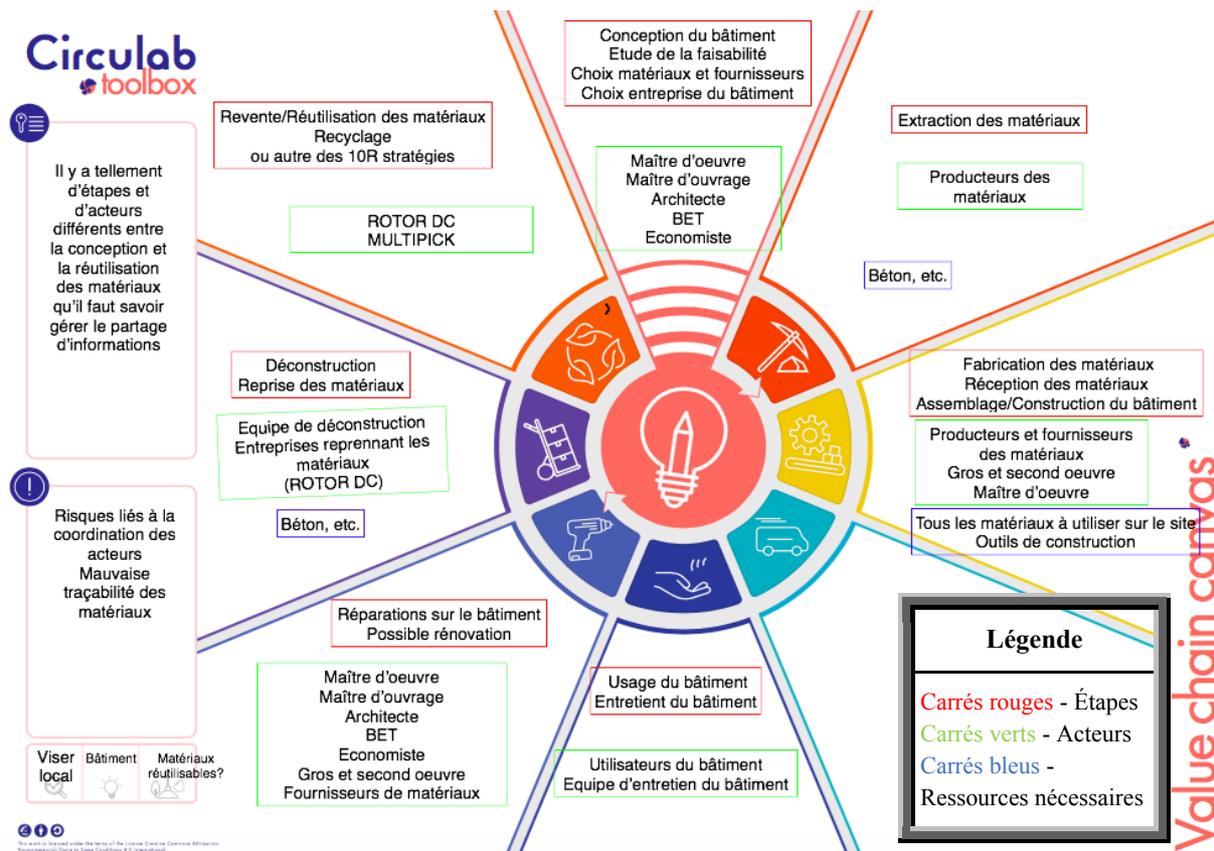


Figure 3-V – Chaîne de valeur circulaire pour un bâtiment.

Pour un bâtiment, on peut relever sept étapes importantes qui forment son cycle de vie. La première est la conception du bâtiment et c'est là que tout se joue. Cette étape n'est d'ailleurs pas souvent reprise au sein des cycles de vie des bâtiments en économie linéaire. Les acteurs repris au sein de cette étape n'y accordent généralement que peu d'importance. Or, comme vu dans la Partie 2, c'est à cette phase que les concepts circulaires doivent entrer en jeu et permettre une transition optimale. L'étape suivante reste celle de l'extraction des matériaux, bien qu'on ait comme objectif de la minimiser autant que possible en allongeant la durée de vie des ressources. La troisième phase reprend la fabrication des matériaux ainsi que la construction du bâtiment. Vient ensuite la période d'usage, la phase de *livraison* n'ayant pas réellement de sens dans cette chaîne de valeur. Certains réaménagements peuvent avoir lieu au cours du cycle de vie d'un bâtiment, nécessitant à nouveau une grande partie des ressources des premières étapes, qu'elles soient matérielles ou humaines. Estimée à 60 ans, la fin de vie des bâtiments est ici représentée par l'étape de déconstruction (et non de démolition !) et de reprise des matériaux par une entreprise externe, comme l'entreprise Rotor DC dans notre cas. Nous reviendrons à cette dernière un peu plus loin. L'étape finale, avant de reprendre le cours du cycle et reconstruire de nouveaux bâtiments, est celle qui englobe certaines « R-stratégies » et où les matériaux peuvent avoir leur cycle de vie rallongé. La **réutilisation des matériaux** pourrait, par exemple, se faire par l'entreprise Rotor DC, après que cette entreprise ait déconstruit une partie du/tout le bâtiment et ait récupéré les matériaux ayant un certain potentiel de réemploi. Cette stratégie et celle du recyclage sont reprises dans le canevas (Recycler et Réutiliser) mais d'autres pourraient y être inscrites. Les trois stratégies de conception, à savoir **Réduire**, **Repenser** et **Refuser** pourraient apparaître à la première étape, à la conception du bâtiment. En effet, celles-ci permettraient d'optimiser le choix des matériaux, de supprimer les installations superflues prévues, etc. Il est intéressant de remarquer qu'en comparaison avec le système linéaire à la Figure 2-V

les étapes de déconstruction et de reprise des matériaux pour la réalisation des « R-strategies » sont bien identifiées, et non plus seulement vaguement mentionnées au-dessus d'une flèche.

Comme on peut le voir à travers les cases vertes, de nombreux acteurs interviennent tout le long de cette chaîne et de nouveaux apparaissent, comme prédit dans la description du *business model* circulaire. Ces acteurs sont :

- Entreprises de déconstruction
- Entreprises de reprise de matériaux
- Entreprises de revente de matériaux
- Entreprises de recyclage
- Entreprises de transport des matériaux déconstruits
- etc.

D'autres parties peuvent intervenir, notamment pour les autres stratégies circulaires que celles du recyclage et du réemploi. Tous ces acteurs, initiaux et nouveaux, interagissent à de nombreuses reprises les uns avec les autres. Ci-dessous, on peut retrouver une représentation typique des interactions et de flux d'informations entre les acteurs d'un projet pour un même bâtiment lors des différentes étapes linéaires et les stratégies en « R ».

Analyse des flux de données

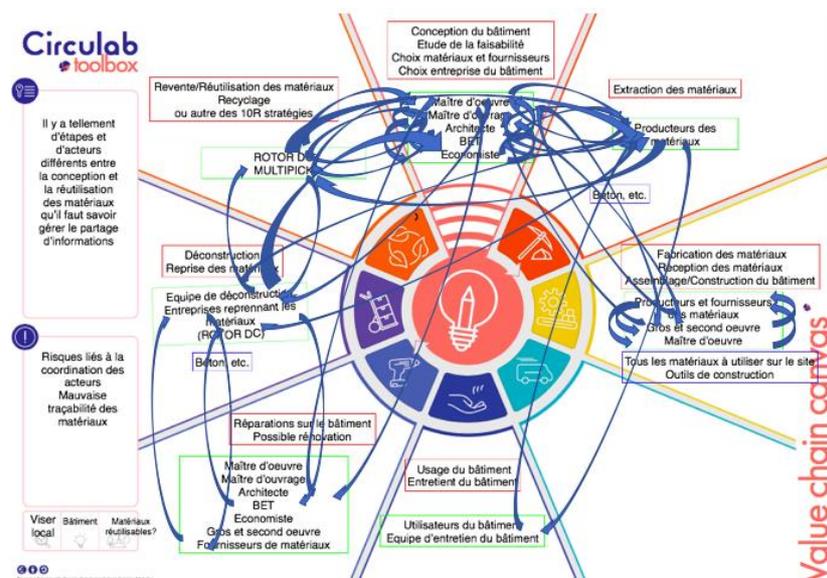


Figure 3-VI – Exemple d'interactions au sein de la chaîne de valeur circulaire d'un bâtiment.

Visuellement, la figure montre que les flux sont nombreux et complexes. La quantité d'échange d'informations y est importante. En outre, des informations peuvent s'échanger entre des phases très éloignées (construction et déconstruction) qui dans notre cas implique une conservation de longue durée. Par ailleurs, ce modèle est une simplification : il ne reprend qu'une synthèse des intervenants et des interactions : des dizaines d'autres parties interviennent au sein d'un bâtiment, multipliant à nouveau le nombre d'interactions. Une analyse plus précise pourrait se faire en utilisant des notations plus spécifiques et adaptées telles que des BPMN. Ce diagramme permet cependant d'avoir une vue globale et d'identifier les besoins en échange et stockage d'informations. En effet, d'une part, chaque partie travaille sur base de ses propres connaissances, ressources, logiciels, etc. D'autre part, rien n'est standardisé. Enfin, il arrive que des informations se perdent et qu'une même démarche doive être réalisée plusieurs fois pour obtenir le résultat souhaité. Par exemple, lors de la construction d'un bâtiment, l'équipe de déconstruction va demander des informations à tel ou tel acteur pour obtenir les

plans et inventaires du bâtiment. Souvent, ceux-ci ne sont pas complets et l'équipe de déconstruction doit se rendre sur place, réaliser de nouveaux inventaires. Par un tel cheminement, les bâtiments perdent de la valeur car il est presque impossible de réaliser un inventaire précis post-construction de tous les matériaux qui le composent. Un problème de coordination entre les acteurs peut d'ailleurs être soulevé, manquant de transparence entre eux. En effet, chacun travaillant de son côté, avec les informations qu'il aura reçues, il est difficile de savoir qui stock telle donnée. Ce problème peut se produire lors du partage d'informations d'une phase à une autre mais également en interne.

Ces informations concernent notamment les matériaux, amenant une nécessité de **traçabilité** de ceux-ci. En effet, dès leur extraction, des pertes importantes sont réalisées et cela se prolonge tout le long du cycle, ce qui présente un gaspillage énorme de ressources mais également une perte économique supportée par de nombreux acteurs de cette chaîne.

Mise en place d'une solution de partage d'informations

Afin de gérer ces besoins d'échange, de préservation et de traçabilité des informations, il serait intéressant d'introduire le concept d'un inventaire partagé et accessible aux différents acteurs, au moment où c'est nécessaire.

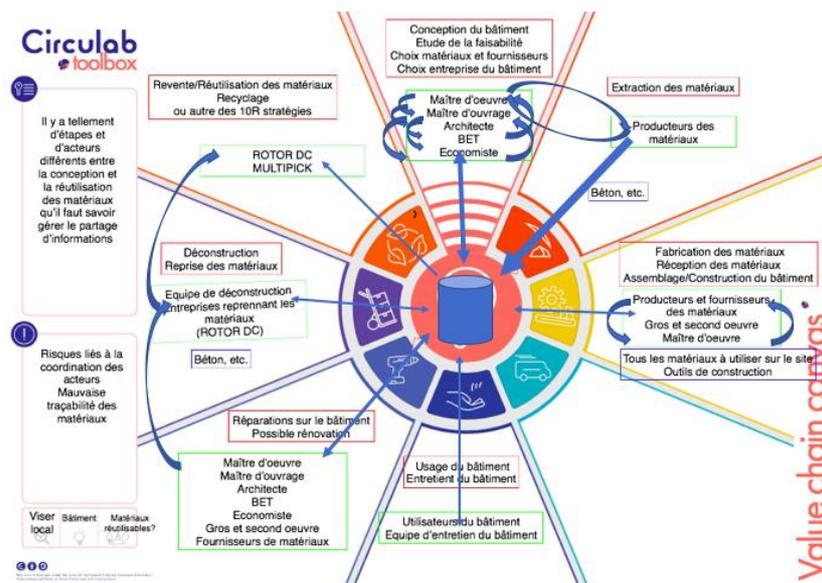


Figure 3-VII – Exemple d'installation d'un système partagé au sein de la chaîne de valeur circulaire d'un bâtiment.

Cela permettrait d'assurer le partage d'une partie des informations, commun à toutes les parties. Au lieu de repasser par tel acteur ou tel acteur pour tenter d'obtenir les informations nécessaires pour la déconstruction, l'équipe de déconstruction gagnerait du temps en se basant sur les inventaires qui sont partagés à travers ce système. On voit aussi qu'en proposant cet inventaire, les flux se simplifient énormément. Notons que cela ne signifie pas forcément que la solution technique est centralisée, ceci étant plus une décision technique comme discuté après.

À ce stade, il est intéressant de présenter plus en détails deux entreprises faisant parties des nouveaux acteurs, à savoir le projet de recyclage **Multipick** et l'entreprise de déconstruction/de réemploi **Rotor**. Cette analyse, réalisée ci-dessous, portera sur leur contribution à l'économie circulaire et à leur système de gestion des données, présentant leurs limites.

3.2.2 Multipick

Description du projet

Après cinq années de recherches menées par le groupe COMET²⁶, l'Université de Liège et l'intégrateur industriel Citius engineering, le projet Multipick a vu le jour. Ce dernier a pour objectif de favoriser l'économie circulaire par le tri des matériaux grâce à une forme d'intelligence artificielle (DW, 2022). Les matériaux sont généralement issus du démantèlement de véhicules et d'électroménagers usagés mais également d'autres produits très populaires pour le moment comme des trottinettes électriques ou encore des panneaux solaires (Paquay, 2021). Avant l'avènement de ce projet, ces produits étaient envoyés en Asie pour être traités manuellement. L'objectif recherché par les acteurs du projet Multipick était donc de développer une stratégie permettant de valoriser localement les flux de métaux et d'avoir de plus en plus de ressources secondaires sur le continent européen. Cela permettrait également de recréer de la valeur, les coûts de transport explosant actuellement (que ce soit au niveau des carburants ou de la main d'œuvre) et d'être plus soutenable (réduction de l'empreinte carbone). Ce processus de recyclage s'articule en trois étapes grâce à l'Intelligence Artificielle. La première est la **reconnaissance** : des capteurs vont permettre de donner des informations sur les types de métaux. La deuxième est le **data processing** qui collecte les informations (donc les images des capteurs) et les traite. Vient ensuite le tri robotisé, réalisé une fois les informations transmises aux robots qui réalisent eux-mêmes le tri. Cette partie s'appelle la **sélection**. Différentes technologies sont utilisées, comme les rayons X, scanner 3D, les caméras hyperspectrales et de l'intelligence artificielle.

« Participation » à l'économie circulaire

Ce type d'innovation permet de répondre à plusieurs challenges de l'économie circulaire. En effet, le traitement de tels volumes d'informations ne pourrait être réalisé par les humains et aide donc à la barrière des connaissances. Ensuite, une telle technologie assurerait la sécurité des employés en triant les métaux et en ne les exposant pas directement aux dangers. Actuellement, le projet Multipick se concentre plus sur les électroménagers ou voitures et pas encore sur les matériaux de construction mais on pourrait envisager une mise au point des algorithmes utilisés au sein de ces technologies pour augmenter le nombre de matériaux identifiés. En outre, la relocalisation des services en Belgique permettrait également de garder les ressources amenées sur les terres belges sous forme de ressources secondaires et de participer au développement de notre économie locale.

3.2.3 Rotor

Description de l'entreprise

Dans ce mémoire, nous nous focaliserons sur le projet Rotor DC, créé par l'Asbl du même nom. L'Asbl Rotor, créée en 2006, est un cabinet de design belge qui se focalise sur l'organisation de l'environnement des matériels. C'est à la fois un bureau d'étude qui conseille ses clients, privés ou publics, qui fait de la recherche pure, de l'influence publique ou encore de l'architecture d'intérieur. Les projets dont s'occupe cette organisation concernent majoritairement les projets conséquents, dépassant largement les 1000 m². C'est en 2016 que cette Asbl a créé le « spin-off » Rotor DC (Déconstruction). Cette dernière est devenue une entreprise coopérative de démantèlement et de revente des matériaux. En plus de proposer un service de déconstruction des bâtiments, elle propose une transformation des matériaux, qui sont

²⁶ Groupe industriel Carolo qui se focalise sur le tri et recyclage des matériaux ferreux, non-ferreux et de leurs dérivés.

ensuite revendus par leurs soins. D'autres services existent également, comme le nettoyage de carrelages. Ces derniers sont pris à leur propriétaire, nettoyés et ramenés à cette même personne. L'Asbl s'occupe ainsi de gérer la conception des bâtiments à partir des déchets de construction remis sur le marché par Rotor DC.

« Participation » à l'économie circulaire

Ce spin-off permet le réemploi de matériaux issus de la construction sans que ces derniers ne subissent des transformations nécessitant la perte complète de leur valeur. Cela permet aussi d'économiser de l'énergie pour réaliser ces transformations. La stratégie de la « réutilisation » est ici mise en œuvre.

Partage de l'information

Pour obtenir l'information qu'un bâtiment va être déconstruit et que de nombreux matériaux peuvent être récupérés, ce sont les maîtres d'ouvrage, par exemple, qui viennent à eux et sollicitent leurs services. Rotor DC réalise des inventaires axés sur la revente, qui reprennent les matériaux d'un bâtiment avec un certain **potentiel de réemploi**. Pour remplir ces inventaires, les entrepreneurs fournissent des photos ou des petits inventaires à l'entreprise mais Rotor DC doit lui-même se rendre sur place pour les peaufiner. Ces inventaires finaux sont présentés sous forme de PDF et de fiches Excel où se trouve l'ensemble des matériaux par bâtiment au sein d'un même site, par étage et par fonction de ces matériaux. Différentes informations s'y trouvent, comme la quantité totale de chaque type de matériaux, les dimensions, etc. Cela permet une remise sur le marché ainsi qu'une certaine organisation pour les déconstructeurs de Rotor DC. Ces inventaires ne sont pas partagés entre les parties prenantes et ne sont pas automatisés. Cela est d'ailleurs perçu par l'intervenante travaillant chez Rotor Asbl comme une grande barrière. On peut également identifier une perte d'efficacité importante. En effet, le fait de réaliser un inventaire de pré-déconstruction, comme le fait l'entreprise Rotor DC, est une perte de temps très importante. Si des inventaires reprenant tous les matériaux prévus au sein d'un bâtiment étaient réalisés dès la conception même du projet, il ne serait pas nécessaire d'effectuer cette tâche à nouveau. En effet, ce type de ré-inventaire survient aussi lors des rénovations, processus de plus en plus fréquents.

Comme on peut le voir à travers cette analyse, les systèmes mis au point concernant le partage d'informations chez Rotor DC ne sont pas optimisés alors qu'une centralisation des informations pourrait être bénéfique à sa transition circulaire. Un manque de standardisation des inventaires rend ces processus inefficients, devant à chaque fois recréer des inventaires pour chaque partie, ayant des formats et une classification des matériaux différents.

Concernant l'utilisation du numérique, le projet Multipick montre que le recours aux technologies permet de faciliter certaines stratégies de l'économie circulaire dans sa pratique. Mais pour que ces stratégies puissent être réalisées de manière optimale, il reste le problème du partage d'informations, comme à nouveau identifié au sein de l'entreprise Rotor. Il semble ainsi intéressant de se pencher sur des solutions d'inventaires partagés et standardisés entre tous les acteurs du bâtiment. Ces solutions pourraient reprendre certains outils digitaux et c'est sur ce début de recherche d'innovation que la suite de ce mémoire portera.

3.2.4 Vers un inventaire partagé

L'objectif de cette sous-section est d'imaginer le développement de la création d'un inventaire partagé. Ce système permettrait d'optimiser la gestion et le stockage des données dès le début de la conception d'un bâtiment. En effet, les acteurs échangent entre eux de nombreuses données et informations tout le long du cycle de vie d'un bâtiment et pour le moment, aucun moyen n'a été généralisé pour ces transferts, envoyant pour la majorité des e-mails avec les documents en pièce jointe. Comme expliqué dans la partie méthodologie de ce rapport, le CSTC a comme projet de développer avec Interreg²⁷ un inventaire connecté dans le secteur de la construction. Ce projet, appelé « Digital Deconstruction » est encore en cours et seulement quelques livrables en sont sortis. Dans un premier temps, ils présentent une revue de la littérature des outils numériques actuellement utilisés comme « GEEK », une application proposant déjà des inventaires en ligne. Cependant, ces derniers ne sont pas standardisés et utilisés par l'ensemble des acteurs à travers le pays. Un autre de leurs livrables concerne l'utilisation de l'intelligence artificielle pour la reconnaissance des matériaux à partir de photos, grâce à un scanner. Cet article pourrait être intéressant pour les outils en amont de la plateforme qui seront présentés au point 3.2.4.3.

Dans la première partie, le projet BAMB a été présenté, avec une description rapide d'un prototype de leurs passeports matériaux. Ce passeport présente plusieurs limitations. En effet, il serait intéressant de les développer pour qu'ils contiennent d'autres informations telles que, par exemple, les possibles futures stratégies circulaires. Il est important de souligner la différence qu'il y a entre les inventaires à destination d'un réemploi et ceux d'un recyclage. En effet, pour un réemploi, c'est le produit final qui intéresse le revendeur et non les matériaux qui le composent. Par exemple, c'est la « porte » que l'entreprise Rotor voudra inventorier, et non le bois, les charnières, etc. qui la composent. Pour le recyclage, c'est l'inverse. Une entreprise de recyclage cherchera à reconditionner du bois, des charnières à partir de la porte. Afin que ces inventaires soient utilisés à autant d'intervenants proposant des « R-stratégies » que possible, il serait intéressant qu'au sein de ces inventaires partagés, on retrouve des passeports produits composés de passeports matériaux. Un passeport pour chaque produit existerait et serait recensé à la première couche de l'inventaire partagé. Différentes informations y seraient présentes, à savoir le **nom du produit**, l'**année d'assemblage**, le **producteur**, les **consignes de sécurité** (si besoin), le **code « GTIN »** et les **passeports matériaux** qui le composent. Au sein de l'inventaire du bâtiment, d'autres informations seront partagées pour chaque produit : l'**année de mise en place dans le bâtiment**, l'**emplacement au sein de ce bâtiment**, les **dimensions et quantités**. Pour qu'un matériau puisse être réutilisé, il faudrait également analyser son potentiel de réemploi grâce au guide développé par Interreg mentionné au point 2.3.4. Cette information pourrait également être présente au sein de ces inventaires.

Sur base de ces informations récoltées, il a été possible d'identifier les exigences que notre solution devrait suivre. Ces exigences permettront de faire ressortir les technologies les plus adéquates pour composer ce système d'inventaire centralisé.

3.2.4.1 Exigences

Pour identifier la technologie permettant de partager ces informations, il faut reprendre les exigences auxquelles cette dernière devra répondre. Celles-ci ont pu être identifiées grâce à l'analyse réalisée grâce à la chaîne de valeur circulaire d'un bâtiment. La première concerne le fait qu'il faudrait que ce système

²⁷ Interreg est « une série de programmes visant à stimuler la coopération entre les régions à l'intérieur et à l'extérieur de l'Union européenne, financés par le Fonds européen de développement régional. » (Wikipédia, 2021)

soit **décentralisé** pour permettre d'installer une confiance entre les acteurs et d'arriver à une certaine collaboration entre eux. Un **mécanisme de régulation** ou de contrôle doit être organisé pour limiter les dérives et assurer un équilibre au sein du système. Ce mécanisme ne doit avoir aucun intérêt personnel au sein de la chaîne d'approvisionnement et du cycle de vie du bâtiment. Ensuite, ce système devrait être **accessible** au sein du cycle de vie pour que tous les acteurs y ayant accès puissent consulter cet inventaire à n'importe quel moment. Il faudrait ainsi un système qui donne un **accès limité** aux parties prenantes concernées par le projet. Les données et informations ne peuvent en effet être accessibles à tout le monde pour assurer la sécurité des données confidentielles par rapport à la concurrence. Cette concurrence peut venir de partout, que ce soit celle des entreprises de production des matériaux, des entreprises de construction, etc.

Les piratages informatiques se faisant de plus en plus au sein des entreprises, il faudrait un système qui soit **robuste à toute attaque**. Les attaques peuvent également se faire en interne. En effet, imaginons qu'un conflit d'intérêt ait lieu entre deux acteurs au sein d'un projet de construction et que l'un d'entre eux corrompe les données de l'inventaire partagé (nous ne sommes jamais à l'abri d'un tel coup, surtout dans un secteur avec autant d'acteurs aux backgrounds différents). Il serait, dans ce cas-là, intéressant que cette personne ne puisse supprimer ou modifier les données. Le système devrait donc, dans la mesure du possible, garantir l'**intégrité** de toute donnée insérée mais mettant quand même à disposition la possibilité d'**apporter des modifications** pour les mises à jour et l'avancement du projet. Pour rappel, un bâtiment à un cycle de vie estimé à 60 ans et ces informations devraient donc rester disponibles sur le long terme, notamment lors du réemploi des matériaux par exemple.

Pour choisir parmi les technologies qui répondraient jusque-là aux exigences, l'aspect de la **pérennité** de la technologie doit être étudié. Le développement d'un tel système devrait avoir comme objectif d'être utilisé sur le long terme et il ne faudrait donc pas miser sur une technologie qui n'a pas encore fait ses preuves.

3.2.4.2 Plateforme technique : Blockchain

L'objectif de cette démarche serait, dans un premier temps, d'identifier des outils qui permettent la gestion et le stockage des données, et d'intégrer ceux-ci pour créer une plateforme au sein de laquelle seraient insérés les inventaires de matériaux et de produits. On pourrait la comparer au site internet²⁸ en Wallonie qui réalise un inventaire des patrimoines wallons. La plateforme ainsi imaginée reprendrait tous les chantiers et bâtiments en Wallonie (ou en Belgique par la suite !). N'importe quel visiteur aurait accès à certaines informations, telles que :

- le nom du bâtiment,
- les acteurs principaux,
- la localisation,
- l'année de construction.

Il y aurait une autre catégorie, "Inventaire", qui serait accessible aux personnes autorisées et disposant de la clé adéquate pour avoir accès au système. Les inventaires connectés de chaque bâtiment pourraient donc être partagés entre toutes les parties prenantes du bâtiment.

Au niveau technique, une solution possible serait le recours à la Blockchain. La Blockchain (Bouraga, 2020) est un système décentralisé qui rend possible un partage d'informations entre différents acteurs ainsi qu'une certaine traçabilité des objets. Cette technologie permet de fournir des informations

²⁸ http://lamppspw.wallonie.be/dgo4/site_ipic/

concernant leur origine, leur localisation, leur état et leur disponibilité. Elle est notamment caractérisée comme étant infalsifiable. Ce système peut être représenté, comme son nom l'indique, par une "chaîne de blocs". Chaque bloc reprend certaines informations et ne peut être modifié. Pour modifier une information insérée au sein de la chaîne, un nouveau bloc doit être rajouté au sein duquel la nouvelle valeur de l'information est insérée. La valeur est changée mais le bloc avec la valeur initiale pourra toujours être consulté comme preuve et sera toujours présent au sein de la chaîne. Aucune information ne peut donc être supprimée. L'accès est également sécurisé, travaillant avec un système de clés qui permettent l'accès à certains utilisateurs. Différentes clés existent, certaines permettant de simplement avoir une vue sur les transactions introduites et d'autres rendant possible l'insertion de données. Elle est gérée par des "nœuds", des utilisateurs externes et anonymes, qui s'assurent du bon fonctionnement de la chaîne.

3.2.4.3 Enrichissement de la plateforme

Considérant le fait qu'on dispose d'un inventaire, on peut imaginer enrichir le système en automatisant les traitements à la fois en amont et en aval.

En aval de l'inventaire, le CSTC est en train d'étudier un projet de « jumeau numérique » pour représenter au sein de ces futurs inventaires connectés, une copie virtuelle du bâtiment. On pourrait rajouter une partie "opérationnelle" à cette plateforme au sein de laquelle serait utilisée cette technologie. Une simulation serait ainsi à disposition des parties, permettant de jouer sur la conception du bâtiment et sur son design de manière partagée. Cela pourrait également être un gros plus pour utiliser la stratégie "Réduire". En effet, celle-ci visant à réduire l'utilisation de ressources autant que possible lors de la création d'un produit, il serait intéressant de réaliser des simulations de déconstruction dès la phase de design, prônant l'utilisation de matériaux pouvant être réutilisés facilement et pouvant estimer dès le début les déchets et coûts qu'une mauvaise conception causerait. Cette technologie analyserait les données reçues et proposerait des alternatives circulaires. Certains projets utilisent le processus/maquette **BIM**, permettant de partager certains plans et fiches techniques des matériaux entre les parties. Il serait, dans cette même optique, intéressant de rendre ce processus circulaire, reprenant déjà beaucoup d'informations sur les matériaux et étant déjà partagés entre certaines parties.

En amont de l'inventaire, il serait intéressant de réfléchir également à des technologies qui permettraient de collecter directement les données, amenant un certain niveau de fiabilité et de précisions pour celles-ci. En effet, elles sont collectées par le biais d'une intervention humaine par chaque partie intervenant au sein du cycle de vie, lorsqu'une modification doit être faite. On pourrait penser à un système de caméras ou de capteurs qui détectent automatiquement tous les matériaux présents sur le site. Cela permettrait également de fournir toutes les données nécessaires pour faire fonctionner le jumeau numérique et optimiser ses simulations. Par exemple, au CETIC²⁹, en 2019, ils ont lancé un projet qui s'appelle "CONSTRUCTION 4.0 - BUILD4WAL" dans lequel ils proposent, entre autres, des technologies comme le "laser scan" pour identifier les objets dès la création de la maquette BIM, au moment de la conception du bâtiment.

3.2.4.4 Validation des choix technologiques

Beaucoup d'idées ressortent mais une question importante est de savoir si cette combinaison de technologies atteindra le plateau de productivité³⁰ assez rapidement pour que le secteur suive ! Proposer une telle solution permettrait de résoudre de nombreux problèmes, ce qui pourrait créer de

²⁹ Centre d'Excellence en Technologies de l'Information et de la Communication.

³⁰ Le plateau de productivité représente le moment où la technologie sera adoptée par le grand public, de manière généralisée.

l'enthousiasme. Cependant, il faut rester réaliste. Pour ce faire, on peut se référer aux “Hype Cycles” (Annexe VI).

Les technologies ont chacune une estimation du nombre d'années qu'il reste avant que ces dernières n'atteignent le plateau de productivité. Dans le cas de la Blockchain, on se trouve à un intervalle entre 6 et 8 ans et le jumeau numérique, entre 1 et 3 ans comme le montre Gartner à l'Annexe VII. Toujours d'après le même article, ils utilisent la “Priority matrix” (Annexe VIII) et soulignent le fait qu'une entreprise de type C pourrait investir dans une technologie dont les années d'adoption par le grand public vont de 2 à 5 ans et qui engendrerait une transformation complète du business, comme notre cas ici avec le partage d'informations. La durée nécessaire à l'adhésion de la Blockchain étant estimée à un minimum de 6 ans, il sera peut-être un peu difficile de motiver le secteur directement.

Cependant, même sans avoir recours à la Blockchain, il serait également possible de réaliser une plateforme satisfaisant les mêmes exigences. Ce type de plateforme pourrait être gérée par la Confédération Construction Wallonne qui est un acteur pertinent vu son rôle d'arbitre du secteur. La solution perdrait cependant le caractère de décentralisation de la Blockchain. Elle pourrait néanmoins avoir un historique non falsifiable de chaque intervention par les parties pour sécuriser l'authenticité des informations et voir quelles données ont été supprimées ou modifiées.

4. Discussions

Lors de cette partie d'analyse, nous sommes parvenus à l'identification de plusieurs solutions permettant la création d'un inventaire partagé, soulevant la barrière du partage d'informations dans le secteur de la construction. Mais la création d'une telle plateforme met cependant certains points et discussions sur le tapis.

4.1.1 Standardisation et motivation des acteurs

Concernant la solution apportée dans ce mémoire, l'objectif serait de standardiser ce type de système pour qu'un maximum d'acteurs y adhèrent. Si celui-ci ne peut être rendu obligatoire par la région wallonne (par exemple), il faudrait motiver tous les acteurs de la chaîne. Cependant, cela ne sera pas chose facile car, comme mentionné précédemment, ils sont nombreux et ont également des connaissances très différentes. De plus, la rapidité et les faibles coûts qui caractérisent la démolition d'un bâtiment ralenti le passage aux déconstructions. Du moins, c'est l'idée véhiculée parce qu'ils ne tiennent souvent pas compte de la valeur économique que ça leur rapporterait de revendre leurs matériaux. En plus de présenter les avantages financiers, il serait nécessaire de souligner l'intérêt grandissant des clients et des investisseurs pour les entreprises et actions plus durables, notamment qui ont un impact positif sur l'environnement.

4.1.2 Bâtiment comme un service

Comme mentionné précédemment, nous avons considéré ici le bâtiment comme étant un produit, un ensemble de ressources. Cependant, et cela a été appuyé par la crise sanitaire de 2020, la partie « utilisation » des bâtiments est loin d'être optimisée. En effet, une partie conséquente des bâtiments est souvent inexploitée, comme les bureaux qui sont désertés pour faire place au télétravail. Pour faire un pas en plus vers une économie totalement circulaire, il serait intéressant de considérer le bâtiment comme un service, permettant de renforcer la coopération entre les acteurs pour assurer le bon usage d'un tel service et densifier les espaces de travail. Vu que les bureaux n'auraient plus de réels « propriétaires » attirés, cela créerait du trafic et moins de nouveaux espaces devraient être créés, en réutilisant ceux existants. La partie utilisation n'a pas été approfondie dans notre chaîne de valeur et une analyse plus spécifique dans cette optique pourrait être réalisée lors d'une prochaine itération du modèle.

4.1.3 Aspect financier

Le recours à de telles technologies représente un coût assez important et est fonction de différents paramètres. Par exemple pour le jumeau numérique, une énorme quantité de données est nécessaire à sa mise en place et cela peut engendrer un certain coût. Il serait ainsi intéressant, dans de prochaines études, d'analyser le ROI (*Return on Investment*) en tenant en compte les bénéfices réalisés le long de la chaîne grâce à l'implémentation d'un tel système (gain de temps traduit en une réduction de coûts, réemploi des matériaux plus efficace permettant de garder leur valeur, etc.) mais également la durée de cet investissement et son origine. Si on se positionne sur le long terme, la mise en place d'une plateforme avec des bénéfices en économie circulaire devrait être soutenue par les pouvoirs publics.

4.1.4 Généralisation de l'application de la méthodologie

En répondant à la question de recherche, ce mémoire a permis de développer une méthode pour répondre à différents problèmes au sein de l'économie circulaire grâce au numérique. En effet, dans ce cas-ci nous nous sommes focalisés sur le partage d'informations, problème fortement présent au sein du secteur de la construction. Mais d'autres défis de ce secteur, non repris dans ce mémoire, pourraient également être résolus grâce aux technologies ! Par exemple, l'IoT est de plus en plus étudiée pour surveiller les bâtiments. De plus, comme mentionné dans l'approche méthodologique, le secteur de la construction est un secteur assez conservateur, le mettant en retrait par rapport aux autres domaines pour les aspects de circularité et de numérique. L'illustration par un tel secteur a permis d'identifier les limitations et points d'attention pour répondre à la question de recherche et de les résoudre dans la mesure du possible. La méthode expliquée dans la section 3.1 pourrait facilement être appliquée à d'autres secteurs, ce qui permettrait d'identifier leurs « points faibles » circulaires et les mesures à entreprendre pour résoudre ces problèmes. Certains domaines avec une maturité numérique plus évoluée pourraient développer une solution numérique (identifiée sur base des exigences des besoins du secteur) beaucoup plus facilement qu'au sein du secteur de la construction. Il pourrait également être pertinent de développer des plateformes semblables pour la conception et le suivi d'autres types de produits. Certains domaines, moins en retrait par rapport au numérique, pourraient développer une telle solution proposée beaucoup plus facilement qu'au sein du secteur de la construction.

Cela pourrait être intéressant d'appliquer un tel inventaire au secteur de la santé, par exemple. Ce dernier a été positionné au sein de la Figure 3-II avec une maturité numérique presque semblable à celle du secteur de la construction et une maturité circulaire encore plus faible. Ce secteur est également caractérisé par une consommation importante des ressources, celle-ci d'ailleurs accentuée lors de la crise sanitaire du Covid 19. En effet, des milliards de masques à usage uniques ont été fabriqués et jetés, étant un milieu à risque. Il serait intéressant de promouvoir les protections individuelles à multiples usages et de les tracer grâce à certaines technologies pour réduire la consommation de ressources.

4.1.5 Cybersécurité

Une attention particulière devra être apportée à la sécurité lors de la création du système, ou de tout autre système créé pour d'autres secteurs. Les domaines d'activités reprenant de nombreuses données confidentielles, tel que celui de la construction, peuvent faire l'objet de cyberattaques et le système devrait pouvoir se défendre contre ces dernières. De plus, au-delà des attaques, la performance du système devrait être assurée en continu, nécessitant une sécurité quant aux bugs informatiques ou dysfonctionnements. Les acteurs n'utiliseront pas une plateforme où le risque de se faire pirater ou de perdre ses données existe.

4.1.6 Aspect environnemental

Un des points les plus importants concerne l'empreinte écologique des technologies présentées précédemment. Il n'est pas négligeable. En effet, pour aligner de telles solutions avec les principes de l'économie circulaire, il faut aligner l'aspect économique et environnemental, en réduisant notamment la pollution. Or, de plus en plus d'études ont démontré l'impact environnemental négatif que peut représenter ce type de technologies sur notre planète. Réaliser une transaction sur une même Blockchain pourrait atteindre une consommation de 215 KWh. Pour comparer cette valeur, un ménage américain

consommerait 900 KWh par mois. Cette transaction représente donc l'impact énergétique d'un foyer américain durant une semaine ! (Circulab, 2019). De nombreuses études ont été réalisées dans cette direction, mais d'autres études ont également été menées pour appuyer le fait qu'une transition circulaire pourrait se faire difficilement sans une transition digitale. Il est certain que la consommation énergétique qu'utilisent ces technologies est avérée et doit être prise en compte dans le processus global de conception afin d'assurer sa soutenabilité. D'après Alexis Willemot (2020), le numérique représenterait de « 2 à 6% des émissions de gaz à effet de serre mondiales ». Mais de nombreuses organisations, comme WWF, se battent actuellement pour transiter vers un **numérique responsable** à travers de nombreux projets tel que le Green IT, visant à réduire cette empreinte carbone du numérique.

Au-delà de ces projets, l'article « Le digital, formidable levier pour l'économie circulaire » (Chanussot, 2021) a identifié le fait qu'un partage optimal de ces données permettrait aux entreprises d'optimiser leurs flux et de réduire le stockage et l'envoi de données superflues. D'après l'organisation Carbon Literacy project, un mail sans pièce jointe générerait 4g de CO₂, pouvant aller jusqu'à 50g si le mail est accompagné d'une pièce jointe importante. Grâce à l'utilisation d'une telle plateforme, cela permettrait de réduire un grand nombre de données envoyées à répétition à plusieurs acteurs en même temps et ainsi réduire la pollution énergétique. Il serait intéressant de réaliser une étude qui ferait la balance entre les émissions augmentées par la solution numérique sélectionnée et celles réduites par la diminution des échanges et stockages d'e-mails par exemple. En attendant, à l'Annexe IX, une image du site internet *futura sciences* présente quelques comparaisons énergétiques quant à l'envoi de mails. Un argument supplémentaire appuyant l'importance du partage de données.

5. Conclusion

La question de recherche amenait l'identification de solutions numériques pour accélérer la transition d'une économie linéaire vers une économie circulaire. Pour répondre à cette question et identifier ces solutions, nous avons séparé cette démarche en trois parties.

Dans un premier temps, nous avons défini certains aspects théoriques de l'économie circulaire, notamment ses stratégies, suivi par la description du cas d'étude. Les changements au sein des modèles économiques ont ensuite fait l'objet de canevas spécifiques et de l'identification de limitations à leur utilisation efficace. Ces barrières ont permis d'amener la deuxième partie qui contient nos contributions. Il s'agit tout d'abord de la description de l'approche méthodologique, amenant une analyse des interactions entre les acteurs présents le long du cycle de vie qu'on désire rendre plus circulaire. Nous l'avons ensuite illustré par le domaine de la construction caractérisé par une maturité numérique assez faible et un gros potentiel en économie circulaire. Les échanges d'informations y étant complexes et peu structurés, nous avons ensuite illustré comment mettre en place un système d'inventaire connecté en précisant ses exigences et en explorant des outils techniques. Concernant le stockage et le partage des informations, la structure de cette plateforme pourrait être tenue par une Blockchain, intéressante pour la traçabilité des données, infalsifiable et décentralisée, entre autres avantages. D'autres technologies ont également été identifiées comme pertinentes pour compléter cette structure. Le jumeau numérique permettrait d'ajouter une partie opérationnelle à cette plateforme et d'optimiser l'utilisation des ressources dès la conception du bâtiment. D'autres techniques de collecte de données pourraient également s'ajouter à l'ensemble du système, permettant une augmentation de la fiabilité de ces données et une réduction des efforts à fournir pour encoder les informations manuellement. Cependant la maturité de la technologie et le profil du secteur doivent aussi être pris en compte. À cet égard, l'utilisation des *Hype cycles* indique que l'adoption de la Blockchain nécessite encore quelques années dans un tel secteur mais d'autres solutions sont envisageables comme la création d'une plateforme gérée par la Confédération Construction Wallonne, par exemple. Par ailleurs, nous discutons aussi de facteurs d'adoption, de coût et d'impact environnemental du numérique. Ce dernier devant au moins être contrebalancé par les avantages environnementaux indirects qu'apporte cette plateforme.

La validation apportée au sein de ce mémoire s'est limitée au domaine de la construction, secteur qui n'a été lui-même abordé qu'en partie et ne pourrait pas être reprise telle quelle pour un autre domaine. En effet, chaque entreprise a son propre *business model*, ses propres chaînes de valeurs et ses propres besoins. Cependant, la démarche proposée est généralisable. Les entreprises et secteurs d'activités pourraient utiliser la méthodologie proposée au sein de ce mémoire pour soulever leurs barrières circulaires et définir les solutions numériques qui aideraient à arriver à cet objectif. Les entreprises étant de plus en plus contraintes aux normes environnementales, il serait intéressant pour elles d'agir comme tel et sans trainer d'avantage, dans une société où les investisseurs et clients regardent de plus en plus à l'impact environnemental de ces entreprises. Ce travail s'est aussi limité à une première série d'actions liés à des stratégies spécifiques. La démarche elle-même est circulaire, itérative et adaptative, en soutenant plus efficacement les stratégies déployées, en évaluant leur niveau de succès et en envisageant d'autres stratégies complémentaires.

6. Bibliographie

ADEME (s. d.). *Economie circulaire*. Consulté le 7 décembre 2021, à l'adresse <https://www.ademe.fr/expertises/economie-circulaire>

AquaPortail, É. (2019, 2 décembre). *Biodigesteur*. AquaPortail.

Aurez, V. et Georgeault, L. (2019, 16 septembre). *Économie circulaire: Système économique et finitude des ressources*. De Boeck Supérieur. 352 pages.

Autodesk (s. d.). *Conception et construction avec le BIM. Modélisation des données du bâtiment*. Consulté le 25 mai 2022, à l'adresse <https://www.autodesk.fr/solutions/bim>.

AWap (s. d.). *Inventaire du patrimoine immobilier culture*. Consulté le 5 mai 2022, sur le site http://lampspw.wallonie.be/dgo4/site_ipic/.

Bamb (2020). *About Bamb*. Consulté le 2 mai 2022, à l'adresse <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>.

Bamb (2020). *Materials Passports*. Consulté le 2 mai 2022, à l'adresse <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>.

Bâtiment Bas Carbone (s. d.). *Le bâtiment, le secteur à la plus forte empreinte carbone*. Consulté le 4 mai 2022, à l'adresse <https://www.batimentbascarbone.org/carbone-batiment/>.

Benachio, G. L. F., do Carmo Duarte Freitas, M. et Tavares, S. F. (2020). *Circular economy in the construction industry: A systematic literature review*. Journal of Cleaner Production, 260, 121046.

Birliga Sutherland, A. et Von Daniels, C. (2021, 9 juillet). *Collaboration is at the center of circular business models*. GreenBiz.

Boluze, L. (2022, 11 janvier). *Economie circulaire : principe, fonctionnement et exemples*. Capital.

Bouraga, S. (2020). *Technologie digitale [Cours]*. Université de Namur.

Bremme, L. (s. d.). *Définition : Qu'est-ce que le big data ?* lebigdata.fr

Bruxelles Environnement (2020, 24 avril). *Un guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction*.

Bruxelles Environnement (s. d.). *Rotor*. Consulté le 14 mars 2022, à l'adresse <https://environnement.brussels/fiche/rotor>.

C2C Community (2021, 2 avril). *Le cradle to cradle : qu'est-ce que c'est ?*

Carra, G. et Magdani, M. (2017, mars). *CIRCULAR BUSINESS MODELS FOR THE BUILT ENVIRONMENT*. Ellen MacArthur Foundation, ARUP et BAM.

CETIC (s. d.). *Construction 4.0 - BUILD4WAL*. Consulté le 16 mai 2022, sur le site <https://www.cetic.be/Construction-40-Build4Wal-fr>.

Chanussot, L. (2021, 1 février). *Le digital, formidable levier pour l'économie circulaire*. MBA MCI.

Chiaroni, D. (2021). *Circular Economy Business Models*. [Cours]. Polytechnique de Milan.

Choffat, A. (2017, 22 septembre). *Génération Y : définition et caractéristique*. Linternaute.

Circulab (2019, 7 janvier). *La Blockchain peut-elle favoriser l'économie circulaire ? Activer l'économie circulaire*.

Circulab (2022, 13 avril). *The Circular Economy starts with circular design - Initiate change with*.

Clavir, F. (2022, 25 février). *Trop peu d'entreprises wallonnes dans l'économie circulaire*. [Reportage] CanalZ.

Commission Européenne (2020). *Montrer la voie vers une économie circulaire au niveau mondial : situation actuelle et perspectives* : Vol. (1re éd.). Inc.

Commission européenne (2020). *Categorisation System for the Circular Economy: A Sector-agnostic approach for activities substantially contributing to the Circular Economy*. Publications Office of the European Union.

Commission européenne (2018). *L'intelligence artificielle pour l'Europe*. Communication de la Commission au parlement européen, au Conseil, au comité économique et social européen et au comité des régions.

De Roissart, E. (2022). *Inventaire partagé* [Interview].

Decennale (s. d.). *Guide des différents acteurs de la construction et leurs obligations*. Consulté le 24 avril 2022, à l'adresse <https://www.decennale.com/guide-differents-acteurs-construction.html>.

Delamarche, M. (2015, 29 novembre). *L'économie circulaire, ce n'est pas que du recyclage ! L'usine nouvelle*.

Deluzarche, C. (2021). *Jusqu'où va grimper la population mondiale ? Futura*.

Deluzarche, C. (2022, 28 mars). *Quelle est l'empreinte carbone d'un e-mail ? Futura*.

Demestichas, K. et Daskalakis E. (2020). *Information and communication technology solutions for the circular economy*. Sustainability, 12(18), 7272.

Digital Wallonia (2020). *BAROMÈTRE 2020 de maturité numérique des entreprises wallonnes*.

Digital Wallonia (2022, 16 février). *Les Carrefours de l'IA "IA & économie circulaire et durable*. [Webinaire].

Econometrics, C. (2018). *Impacts of circular economy policies on the labour market: final report and annexes*.

Economiecirculaire.org (s. d.). *Responsible consumption*. Consulté le 10 décembre 2021, à l'adresse <https://www.economiecirculaire.org/static/h/responsible-consumption.html>.

European Economic and Social Committee (2016) INT/784. *The functional economy*.

Facon, P. (2021, 4 mai). *Business model canvas : définition, modèle, explications et conseils*. Le coin des entrepreneurs.

FISSAC (s. d.). *What is industrial symbiosis?* Consulté le 8 décembre 2021, à l'adresse <https://fissacproject.eu/en/what-is-industrial-symbiosis/>

Footprint Network (s. d.). *Global footprint Network*. Consulté le 13 février 2022, à l'adresse <https://www.footprintnetwork.org/>.

Fondation Ellen MacArthur (s. d.) *Circular economy introduction*. Consulté le 10 octobre 2021, à l'adresse <https://ellenmacarthurfoundation.org/topics/circular-economy-introduction/overview>

Fondation Ellen MacArthur (2019). *The butterfly diagram: visualizing circular economy*.

Fondation Ellen MacArthur (s. d.) *What is the circular economy* (No. 17 – 2/3) [Audio podcast épisode]. <https://ellenmacarthurfoundation.org/podcasts/what-is-the-circular-economy-2-3>

García-Sánchez, I.-M., Somohano-Rodríguez, F.-M., Amor-Esteban, V., Frías-Aceituno, J.V. (2021). *Which region and which sector leads the circular economy?* CEBIX, a multivariant index based on business actions, Journal of Environmental Management, Volume 297, 113299, ISSN 0301-4797.

Gartner (2018, 20 août). *Understanding Gartner's Hype Cycles*.

Gartner (2021, 4 octobre). *Emerging Technologies and Trends Impact Radar: Enterprise Software*.

Gartner (2021, août). *Hype cycle for supply chain strategy*.

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. J. Clean. Prod.178, 618-643.

Giraldo J. D. L. (2017, 7 avril). *Butterfly diagram animation*. [Vidéo]. Youtube. Consulté le 7 mars 2022, à l'adresse <https://www.youtube.com/watch?v=EqBivOsNtFg>

Global Footprint Network. (s. d.) *Earth Overshoot Day*. Consulté le 5 décembre 2021, à l'adresse <https://www.footprintnetwork.org/our-work/earth-overshoot-day/>.

GTIN (s. d.). *GTIN definition : information*. Consulté le 3 mai 2022, à l'adresse <https://www.gtin.info/>.

Hautefeuille, C. (2018, 5 mai). *Business model canvas : kezaiko ?* - Medialab Session. Medium.com

Hopkinson, P., Wang, Y., Chen, H., Lam, D., Zhou, K., (2019). *Recovery and reuse of structural products from end-of-life buildings*. Eng. Sustain. 172 (3), 119-128.

Hourse, C. (2019, 1^{er} juillet). *Quels business models pour une économie circulaire ?* Loop de Terracycle. Entreprise contributive blog.

IBM (s. d.). *Comment fonctionne un jumeau numérique ?* Consulté le 17 mai 2022, à l'adresse <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/what-is-a-digital-twin>.

IBM (s. d.). *Qu'est-ce que la technologie de la Blockchain ?* Consulté le 25 mai 2022, à l'adresse <https://www.ibm.com/fr-fr/topics/what-is-blockchain>.

Indiz (2021, 28 janvier). *Qu'est-ce qu'un site d'enfouissement ?* Consulté le 7 mai 2022, à l'adresse <https://www.indiz.fr/quest-ce-quun-site-denfouissement/>.

INRS (s. d.). *Qui sommes-nous ?* Consulté le 26 mai 2022, à l'adresse <https://www.inrs.fr/inrs/identite.html>.

INRS (2019, 17 avril). *Économie circulaire en 2040. Quels impacts en santé et sécurité au travail ? Quelle prévention ?*

Insee (2021, 12 janvier). *Economie circulaire*.

Interreg NWE (2022, 1 février). *FCRBE - Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe*.

Izuba (2017). *Analyse du cycle de vie d'un bâtiment*.

labolsadepapel (s. d.). *L'économie circulaire, de l'origine à l'origine*. Consulté le 15 avril 2022, à l'adresse <https://labolsadepapel.com/fr/leconomie-circulaire/>.

Larousse, Éditions. *Définitions : biosphère n.f.*. Dictionnaire de français Larousse.

Larousse, Éditions. *Définitions : valorisation n.f.*. Dictionnaire de français Larousse.

Lee, I. (2019, 10 mai). *Real estate and the challenge of the circular economy*. Mipim world Blog.

MacLennan, E. (2021, 31 octobre). *What Is Cradle to Cradle? Principles, Design, and Certification*. Treehugger.

Matthews, C.-E. (2017). *L'économie circulaire et son impact sur le contrôle de gestion*. Louvain School of Management, Université catholique de Louvain. Prom. : De Ronge, Y.

McKinsey (2017, 1 juin). *Mapping the benefits of a circular economy*.

MEADOWS, D. *et al.* (1972). *Limits to Growth*, Universe Books Publisher.

Ministères Écologie Énergie Territoires (2020, 4 novembre). *L'économie circulaire*.

National Geographic. (s. d.) *Le plastique en chiffres*. Consulté le 5 mai 2022, à l'adresse <https://www.nationalgeographic.fr/le-plastique-en-10-chiffres>

Nguyen-Quy, L. (2019, 7 février). *L'économie de la fonctionnalité*. Ministères Écologie Énergie Territoires.

Nobre, G. C., et Tavares, E. (2020). *Assessing the Role of Big Data and the Internet of Things on the Transition to Circular Economy: Part I: An extension of the ReSOLVE framework proposal through a literature review*. Johnson Matthey Technology Review, 64(1), 19-31.

Noël, O. (2022). *Rotor DC* [Interview].

Norouzi M., Châfer M., Cabeza L. F., Jiménez L., Boer D. (2021). *Circular economy in the building and construction sector: A scientific evolution analysis*. Journal of Building Engineering, Volume 44, 102704.

Noulet J.-F. (2019). *Une économie plus durable en Belgique ? 7.5% des emplois sont " circulaires "*. RTBF.

Núñez, S. (2021, 6 mai). *Ressources non renouvelables : Définition et exemples*. ProjetEcolo.

One Heart. (2021, 17 juillet). *Jour du dépassement: l'Homme a consommé toutes les ressources naturelles que la Terre était en mesure de produire en 2021*.

Oracle (s. d.). *Qu'est-ce que l'IoT ?* Consulté le 30 mai 2022, à l'adresse <https://www.oracle.com/fr/internet-of-things/what-is-iot/>.

Oracle (s. d.). *Quelles sont les cyberattaques dont il faut absolument se protéger ?* Consulté le 30 mai 2022, à l'adresse <https://www.oracle.com/fr/cloud/cyberattaque-securite-reseau-informatique.html>.

Paquay M. (2021, 11 mars). *Relance: et si l'avenir de la métallurgie était circulaire, et se jouait en Wallonie ?* RTBF.

Philips (s. d.). *The circular imperative*. Consulté le 10 février 2022, à l'adresse <https://www.philips.com/a-w/about/environmental-social-governance/environmental/circular-economy.html>

Poncelet, F. (2022). *Économie circulaire dans la Construction: Evolution dans la construction circulaire* [Webinaire]. CSTC.

Ponsard, C. (2022, mai). [Discussion].

Red Hat (2018, 16 mars). *La transformation numérique, qu'est-ce que c'est ?*

Rosamond, H. (2016). *What are the 10 biggest global challenges?* World Economic Forum.

Sauvé, S., Normandin, D., & McDonald, M. (2016). *Économie circulaire : : une transition incontournable*. Centre interuniversitaire de recherche sur le cycle de vie des produits, procédés et services.

SES (2021, août 19). *Capital naturel*. Consulté le 18 mai 2022, à l'adresse <https://ses.webclass.fr/notions/capital-naturel/>.

Shojaei, Alireza, et al. (2021, avril). *Enabling a Circular Economy in the Built Environment Sector through Blockchain Technology*. Journal of Cleaner Production, vol. 294, p. 126352. ScienceDirect.

SPW (s. d.). *Économie circulaire en Wallonie*. Consulté le 16 avril 2022, à l'adresse <https://economiecirculaire.wallonie.be/situation-regionale>.

SPW (s. d.). *Législation*. Consulté le 16 avril 2022, à l'adresse <https://economiecirculaire.wallonie.be/situation-regionale/legislation>.

SPW et Circular Wallonia (2021). *Stratégie de déploiement de l'économie circulaire*. Circular Wallonia.

SuReal (2022). [Discussion avec les experts pendant mon stage].

Swiss Recycling (s. d.), *Glossaire*. Plateforme économie circulaire. Consulté le 15 mai 2022, à l'adresse <https://www.economie-circulaire.swiss/savoir/glossaire/>.

Techno-Science (s. d.). *Capital naturel : définition et explications*. Consulté le 17 mai 2022, à l'adresse <https://www.techno-science.net/definition/3440.html>.

Thimister, V. (2022, mai). [Discussion].

UCL Institute for sustainable resources blog (2014, 10 mars). *Three Challenges to the Circular Economy*.

Vaileanu-Paun, I. et Boutillier, S. (2012). *Économie de la fonctionnalité. Une nouvelle synergie entre le territoire, la firme et le consommateur ?*. Innovations., 37, 95-125.

Vaudano, M., Breteau, P. (2018). Déchets, recyclage, réutilisation : qu'est-ce que l'économie circulaire ? Le Monde.

Wikipédia (2021). *Interreg*. Consulté le 26 mai 2022 à l'adresse : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Interreg>.

Wikipedia (s.d.). *Economie collaborative*. Consulté le 15 mai 2022 à l'adresse : https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89conomie_collaborative.

Willemot, A., Chaussat, J. C., et Stokkink, D. (2020, mai). *Vers une économie circulaire 2.0*. Pour la solidarité.

Williams, J. (2016, 12 septembre). *The ReSOLVE framework for a Circular Economy*. The earthbound report.

Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C., Sadiq, R. (2013). *An overview of construction and demolition waste management in Canada: a life cycle analysis approach to sustainability*. Clean Technol. Environ. Policy 15 (1), 81-91.

7. Annexes

Glossaire

Big data – « Ils désignent un ensemble très volumineux de données qu’aucun outil classique de gestion de base de données ou de gestion de l’information ne peut vraiment travailler. » (Bremme, s. d.)

BIM – « La modélisation des données du bâtiment (BIM) est le processus global de création et de gestion des informations pour une ressource de construction. Basé sur un modèle intelligent et une plateforme cloud, le BIM intègre des données structurées et pluridisciplinaires pour produire la représentation numérique d’une ressource tout au long de son cycle de vie, de la planification à la conception et de la construction à l’exploitation. » (Autodesk, s. d.)

Block Chain – « La blockchain est un grand livre partagé et inaltérable qui facilite le processus d’enregistrement des transactions et de suivi des actifs dans un réseau commercial. Un *actif* peut être matériel (une maison, une voiture, de l’argent, un terrain) ou immatériel (propriété intellectuelle, brevets, droits d’auteur, marque). Pratiquement tout ce qui a de la valeur peut être suivi et échangé dans un réseau de blockchain, ce qui réduit les risques et les coûts pour toutes les parties concernées. » (IBM, s. d.)

Capital naturel – « Le capital naturel fait référence aux ressources telles que minéraux, plantes, animaux, air, pétrole de la biosphère terrestre, vus comme un moyen de production d’oxygène, de filtration de l’eau, de prévention de l’érosion, ou comme fournisseur d’autres services naturels. Le capital naturel constitue une approche d’estimation de la valeur d’un écosystème, une alternative à la vue plus traditionnelle selon laquelle la vie non-humaine constitue une ressource naturelle passive. » (Technoscience, s. d.)

Cyberattaques – « cible les Systèmes d’Information (SI) ou les entreprises dépendant de la technologie et de réseaux afin de voler, modifier ou détruire un système sensible. » (Oracle, s. d.)

Economie collaborative – « L’économie collaborative est une activité humaine qui vise à produire de la valeur en commun et qui repose sur de nouvelles formes d’organisation du travail. Elle s’appuie sur une organisation plus horizontale que verticale, la mutualisation des biens, des espaces et des outils (l’usage plutôt que la possession), l’organisation des citoyens en "réseau" ou en communautés et généralement l’intermédiation par des plateformes internet (à l’exception de modèles comme les réseaux d’échanges réciproques de savoirs). » (Wikipédia, s. d.)

Économie de la fonctionnalité – « L’économie de la fonctionnalité peut se définir comme un système privilégiant l’usage plutôt que la vente d’un produit. Elle vise à développer des solutions intégrées de biens et services dans une perspective de développement durable. Ainsi, l’échange économique ne repose plus sur le transfert de propriété de biens, qui restent la propriété du producteur tout au long de son cycle de vie, mais sur le consentement des usagers à payer une valeur d’usage. » (Nguyen-Quy, 2019).

Intelligence artificielle (IA) – « désigne les systèmes qui font preuve d’un comportement intelligent en analysant leur environnement et en prenant des mesures — avec un certain degré d’autonomie — pour atteindre des objectifs spécifiques. » (Commission européenne, 2018)

Internet of Things (IoT) – « décrit le réseau de terminaux physiques, les « objets », qui intègrent des capteurs, des logiciels et d'autres technologies en vue de se connecter à d'autres terminaux et systèmes sur Internet et d'échanger des données avec eux. » (Oracle, s. d.)

Jumeau numérique – « Un jumeau numérique est une représentation virtuelle d'un objet ou d'un système qui couvre son cycle de vie. Il est mis à jour à partir de données en temps réel et utilise la simulation, l'apprentissage automatique et le raisonnement pour aider à la prise de décision. » (IBM, s. d.)

Matériaux biodégradables – « Les matériaux biodégradables – aussi appelés bioplastiques – sont des matériaux qui peuvent être dégradés entièrement par les micro-organismes présents dans la nature et transformés en eau, en dioxyde de carbone et en biomasse. » (Swiss Recycling, s. d.)

Matières premières secondaires – « Les matières premières secondaires désignent des matières premières qui sont récupérées par le biais d'activités liées à l'économie circulaire telles que le recyclage et qui sont utilisées comme matières premières dans la fabrication de nouveaux produits. » (Swiss Recycling, s. d.)

Ressource finie – « Les ressources non renouvelables (aussi appelés ressources finies) sont celles qu'on ne peut pas cultiver, produire, réutiliser ou régénérer à un niveau qui pourrait supporter sa forte consommation. » (Núñez, 2021)

Ressource renouvelable – « Énergie et matières premières issues de sources renouvelables. Le concept d'économie circulaire est fondé sur des énergies renouvelables et des ressources durables. » (Swiss Recycling, s. d.)

Transformation numérique – « La transformation numérique désigne l'adoption par une entreprise de méthodes de travail inédites et novatrices en s'appuyant sur les progrès technologiques. Il s'agit donc d'une mutation basée sur des outils numériques à travers laquelle une entreprise améliore ou remplace ses pratiques existantes à l'aide de nouvelles technologies tout en modifiant, le cas échéant, sa culture. » (Red Hat, 2018).

Valorisation – « Action de donner de la valeur, plus de valeur à quelque chose ou à quelqu'un ; fait d'être valorisé. » (Larousse)

Annexe I – Stratégies en R

R9 – Récupérer	Cette stratégie, considérée comme étant une stratégie supplémentaire, concerne l’incinération des matériaux et la récupération d’énergie issue de ce processus.
R8 – Recycler	Récupération de matériaux à partir de déchets en vue de les transformer en nouveaux produits d'une quantité égale ou inférieure. La fonction de ce nouveau produit reste la même.
R7 – Réorienter	Utilisation de matériaux d’un produit au sein d'un nouveau produit avec une fonction différente.
R6 – Refabriquer	Utilisation de matériaux d’un produit au sein d'un nouveau produit avec une fonction identique.
R5 – Reconditionner	Restauration d’un produit ancien en le mettant au goût du jour.
R4 – Réparer	Réparation d’un produit défectueux pour servir la même fonction que celle d’origine.
R3 – Réutiliser	Réutilisation par un autre consommateur d’une partie d’un produit en bonne condition.
R2 – Réduire	Réduction de la consommation des ressources naturelles et de déchets.
R1 – Repenser	Rendre l'utilisation du produit plus efficace.
R0 – Refuser	Abandon des fonctions redondantes ou qui ne sont pas nécessaires.

Tableau 7-I – 10R Strategies.

Annexe II – BMC linéaire

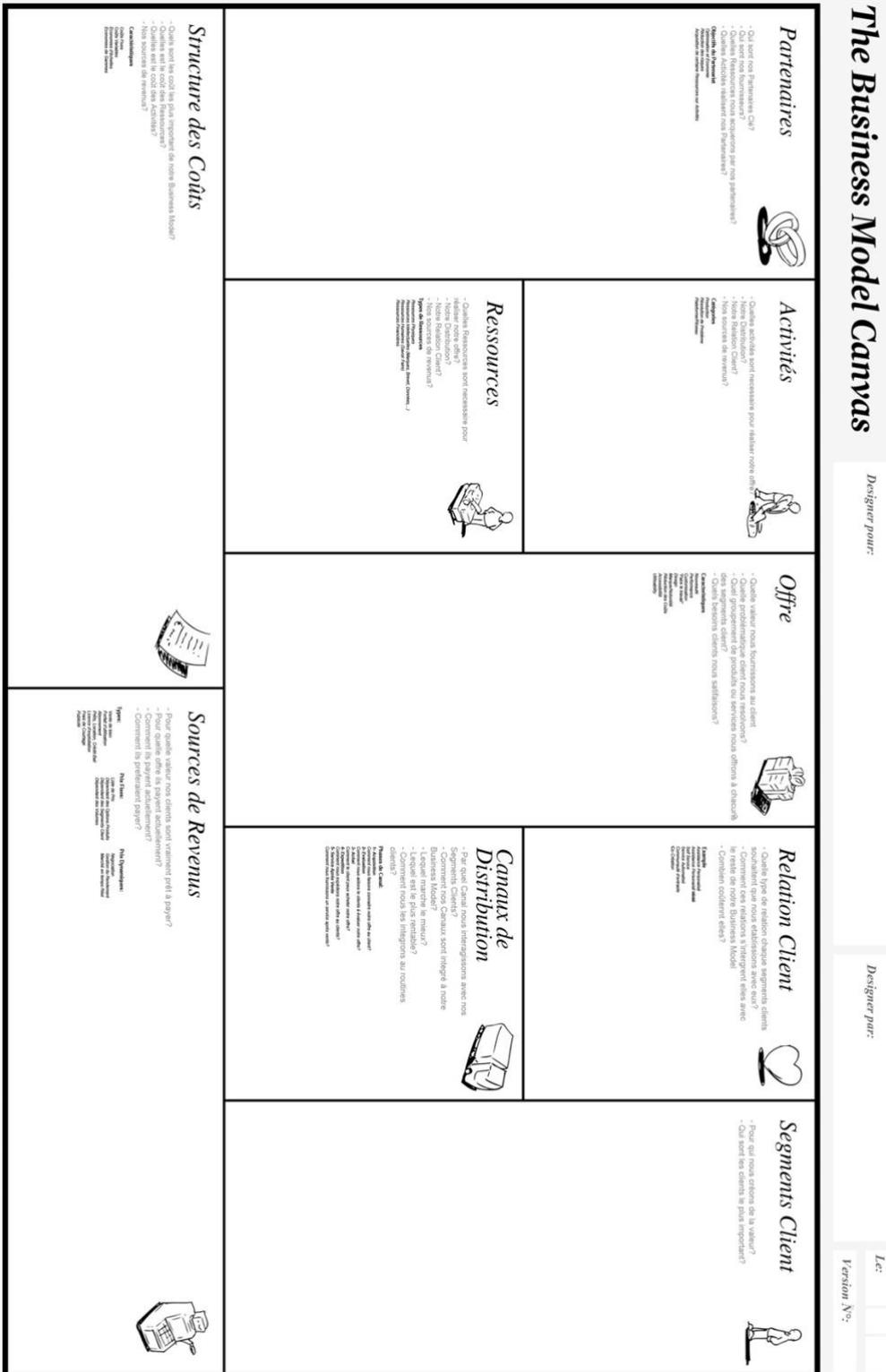


Figure 7-I – BMC linéaire. (medium.com)

Annexe III – BMC circulaire

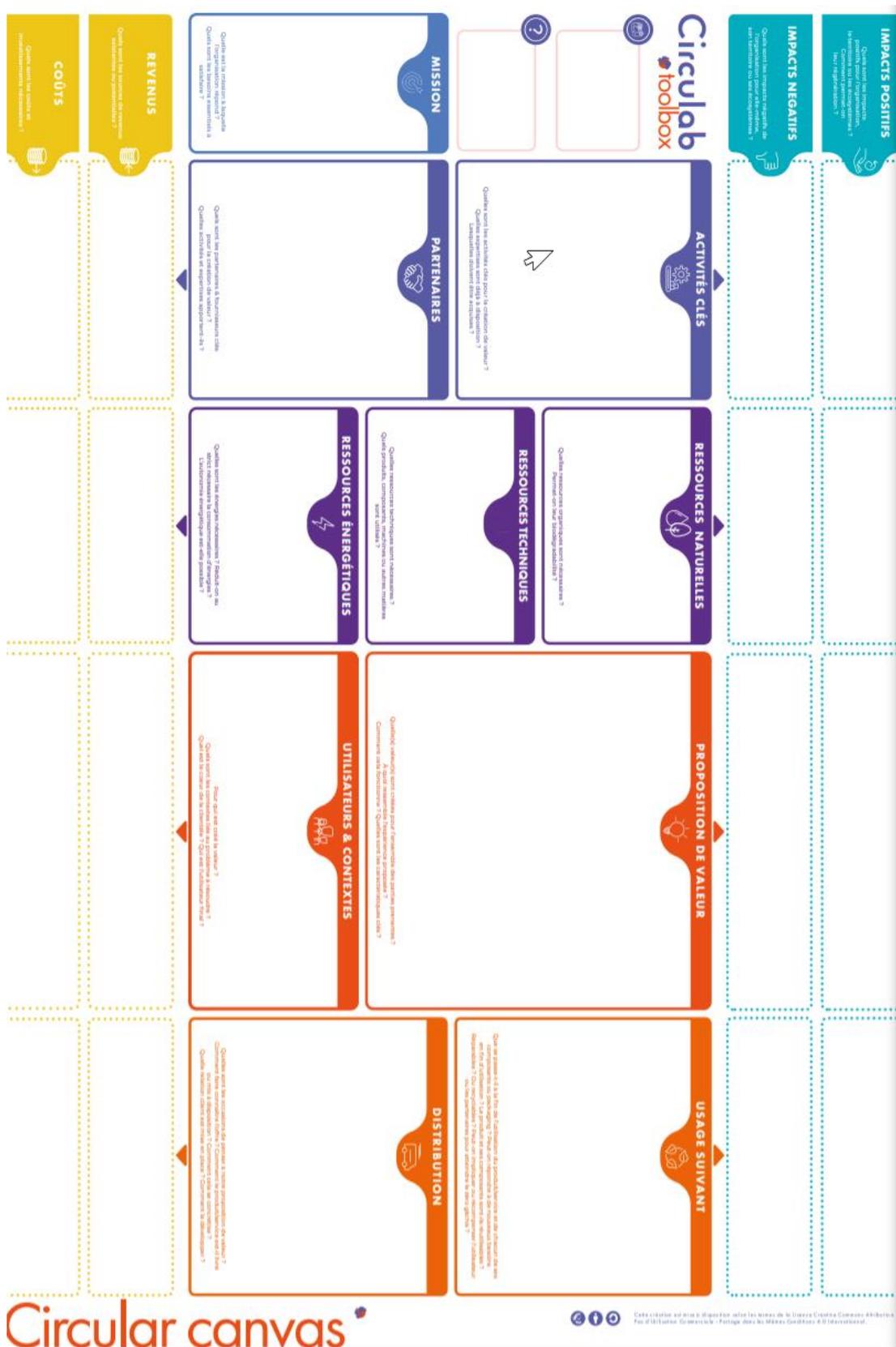


Figure 7-II- Business model canvas circulaire. Circulab.

Annexe IV - Chaîne de valeur circulaire canevas

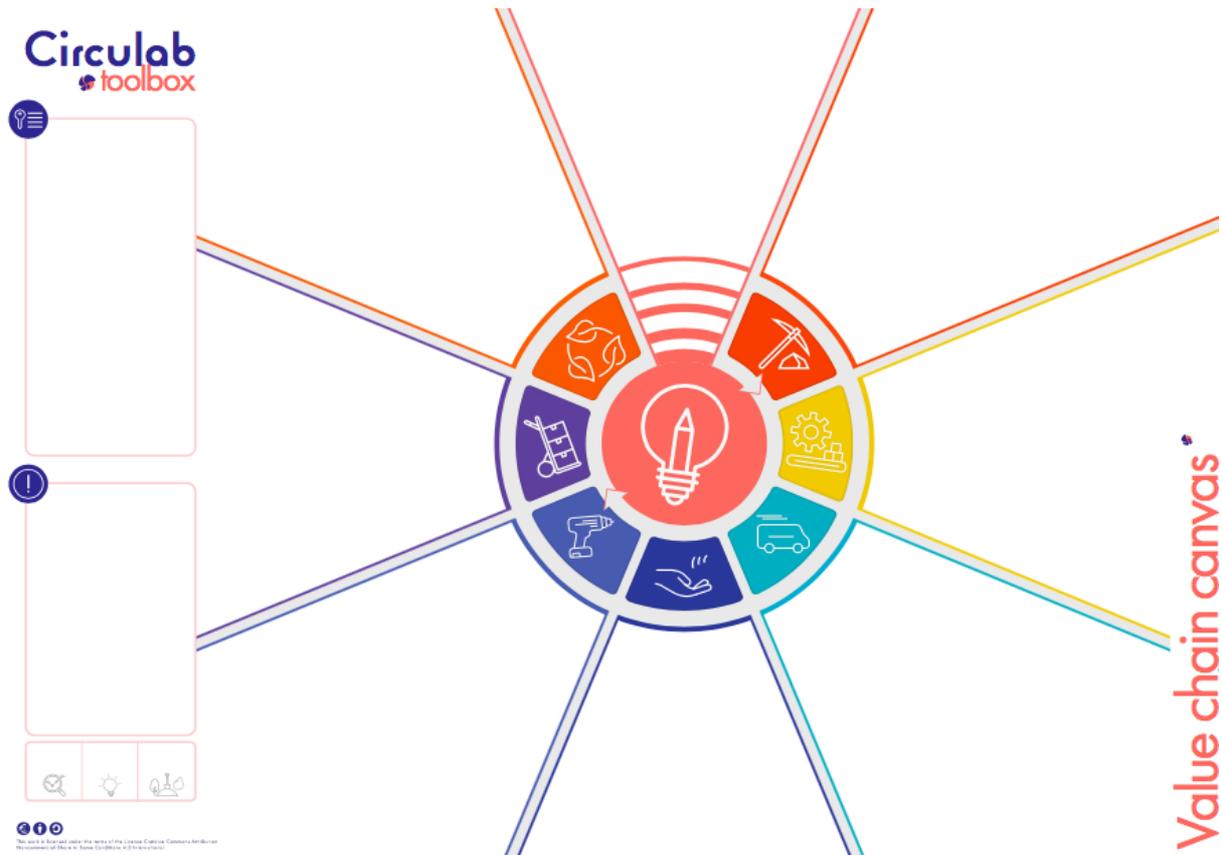


Figure 7-III- Chaîne de valeur circulaire canevas. Circulab.

Annexe V – Prototype BAMB

Materials Passport Platform **Prototype** Products Buildings Instances ? Logout



+ Add Product

Products

Name ↓	Brand Name	Manufacturer	GTIN/EAN
Accoya® Wood	Accsys Technologies	Accsys Technologies	Unknown
Acrovyn® 4000	Acrovyn® 4000	Construction Specialties Inc.	Unknown
Ahrend Balance Desk	Ahrend	Ahrend	Unknown
AirMaster®	Desso	Tarkett	Unknown
Aluminium Door Furniture	AMI BV	AMI bv	Unknown
Armstrong Ultima+	Armstrong	Armstrong World Industries Limited	0888264102735
Axia 2.0 Office Chair	BMA Ergonomics	Flokk	

Figure 7-IV- Prototype de la plateforme de passeports matériaux. Bamb (2020).

Annexe VI – Types d’entreprises concernant l’adoption des innovations

“Organizations tend to be classified as one of three types with regard to innovation adoption:

- **Type A (aggressive):** In general, these organizations try to adopt innovations early in the Hype Cycle. They are prepared to accept the risks associated with early adoption in return for the rewards.
- **Type B (the majority):** These organizations try to adopt innovations in the middle of the Hype Cycle. By doing so, they learn from the experience of Type A organizations but do not wait so long that they lag behind their competitors and become Type C organizations.
- **Type C (conservative):** These organizations try to minimize risks by adopting innovations late in the Hype Cycle, once they have reached the Plateau of Productivity.” (Gartner, 2018)

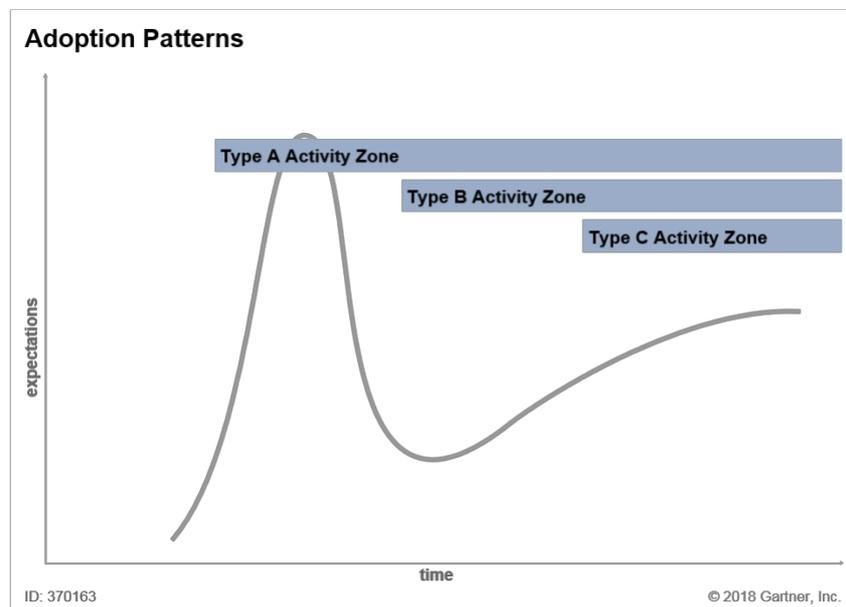
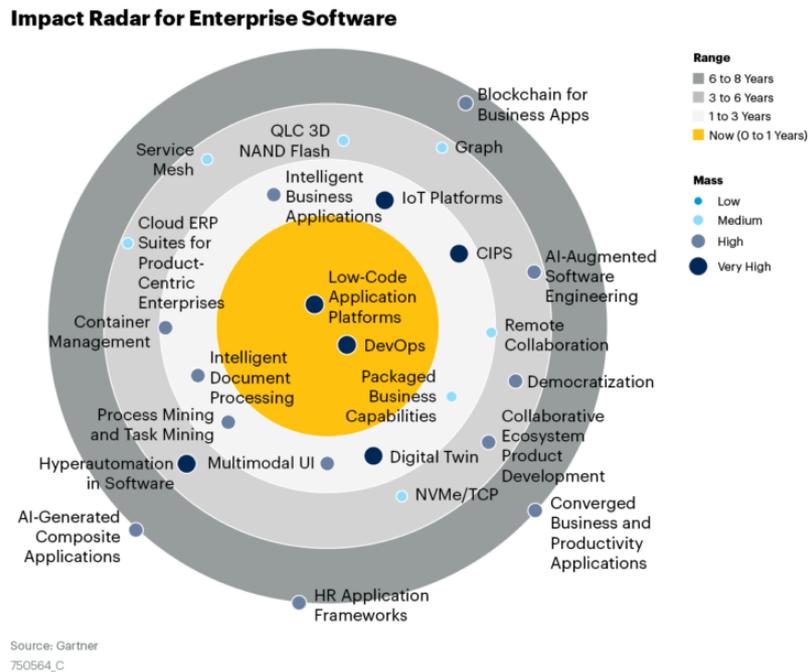


Figure 7-V- Adoption patterns. Gartner (2018).

Annexe VII – Radar à impact



Gartner

Figure 7-VI- Radar à impact de plusieurs technologies. Gartner (2021).

Annexe VIII – Matrice des priorités

Priority Matrix

benefit	years to mainstream adoption			
	less than 2 years	2 to 5 years	5 to 10 years	more than 10 years
transformational	Invest aggressively if not already adopted	Conservative (Type C) investment profile	Moderate (Type B) investment profile	Aggressive (Type A) investment profile
high	Conservative (Type C) investment profile	Moderate (Type B) investment profile	Aggressive (Type A) investment profile	Invest with caution
moderate	Moderate (Type B) investment profile	Aggressive (Type A) investment profile	Invest with caution	Invest with extreme caution
low	Aggressive (Type A) investment profile	Invest with caution	Invest with extreme caution	Invest with extreme caution

As of August 2018

ID: 370163

© 2018 Gartner, Inc.

Figure 7-VII- Matrice des priorités pour les différents profils. Gartner (2018).

Annexe IX – Données énergétiques du numérique



Figure 7-VIII- Données de consommation énergétique du numérique. (futura sciences)