

Mémoire de fin d'études : " Réemploi de la pierre bleue belge, comment concilier patrimoine et circularité des matières par l'activation de nouvelles activités logistiques".

Auteur : Burton, Natan

Promoteur(s) : Trachte, Sophie; Bribosia, Patrick

Faculté : Faculté d'Architecture

Diplôme : Master en architecture, à finalité spécialisée en art de bâtir et urbanisme

Année académique : 2023-2024

URI/URL : <http://hdl.handle.net/2268.2/21524>

Avertissement à l'attention des usagers :

Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.

Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.



Université de Liège
Faculté d'Architecture

Réemploi de la pierre bleue belge, comment concilier patrimoine et circularité des matières par l'activation de nouvelles activités logistiques ?

Travail de fin d'études présenté par Natan Burton en vue de l'obtention du grade de Master en Architecture

Sous la direction de : Sophie Trachte

Co-promoteur : Patrick Bribosia

Année académique 2023-2024

Remerciements

À l'issue de ce travail, je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers,

Ma petite amie, qui m'a soutenu avec une grande compréhension tout au long de ce parcours, me servant d'épaule sur laquelle je pouvais toujours me reposer ;

Ma famille, pour leur patience, leur aide précieuse, et leurs encouragements constants ;

Ma belle-mère, qui a toujours été à l'écoute lorsque j'en avais le plus besoin ;

Mes ami(e)s proches, qui ont su me changer les idées lors de mes moments de faiblesse et qui me soutiennent depuis le début ;

Monsieur Benoit Misonne et les Carrières de la Pierre Bleue Belge, dont la disponibilité et l'engagement ont été essentiels à la réalisation de ce travail ;

Et enfin, ma promotrice, Madame Sophie Trachte, pour son professionnalisme, sa disponibilité lors de nos entretiens, ses remarques toujours pertinentes, et ses encouragements sincères au moment opportun ;

Je tiens également à remercier toutes les personnes qui, de diverses manières, ont contribué à la réussite de ce projet.

Avant-propos

Au cours de mon année de Master 1 à la Faculté d'Architecture de Liège, j'ai eu l'opportunité de suivre un séminaire centré sur le développement durable et la circularité des matières, sous l'enseignement de ma promotrice, Sophie Trachte. Ce cours a stimulé mon intérêt pour les matériaux locaux, domaine sur lequel je n'avais aucune connaissance préalable. Une recherche a été entreprise dans le but de sélectionner un matériau répondant tant à mes aspirations d'architecte, qu'à des critères de construction durable, d'émission bas carbone et à faible consommation énergétique.

Il est ainsi apparu que les matériaux de construction répondant à ces critères sont pour la plupart du temps, locaux et peu transformés. Au fil de mes recherches, j'ai davantage affiné mon choix de matière ou de ressource. Deux catégories principales ont été identifiées : les matières ou ressources biosourcées et les matières ou ressources géosourcées ou minérales. Il me restait alors à faire un choix. En avançant dans mes recherches, j'ai constaté que les matériaux biosourcés étaient le plus souvent mis en avant dans la construction durable. Ces matériaux sont actuellement utilisés tant en isolation thermique sous diverses formes qu'en revêtements extérieurs ou intérieurs.

Souhaitant innover, je me suis orienté vers la recherche d'un matériau méritant un intérêt en Belgique et répondant à divers usages ou applications en architecture. C'est ainsi que j'ai porté mon attention sur les pierres de taille, une ressource fortement exploitée en construction. La pierre bleue de Belgique s'est imposée comme un choix évident en raison de son origine locale et de ses bonnes et nombreuses performances, qui m'ont été révélées au cours de mes années académiques.

Cependant, même si certains architectes comme Gilles Perraudin préconisent l'utilisation de la pierre de taille dans leurs projets en raison de ses caractéristiques, elle demeure largement sous-utilisée dans les infrastructures actuelles. Plusieurs questions ont suscité mon intérêt comme : pourquoi ce matériau n'est pas pleinement valorisé aujourd'hui, et pourquoi n'existe-t-il pas encore de mouvement significatif prônant sa réutilisation ? Et ce d'autant que l'utilisation de matériaux multifonctionnels ou équilibrés, peu énergivores, peu émissifs, réversibles et réemployables est recommandée pour atteindre tant les objectifs « 2050 » de neutralité carbone et de transition circulaire de notre économie.

Table des matières

1	INTRODUCTION	8
1.1	Présentation de la problématique et enjeux	9
1.1.1	Contexte général – Réduction de l'utilisation de la pierre bleue belge	9
1.1.2	Contexte environnemental de la pierre bleue belge	12
1.2	Question de recherche et objectifs	16
1.3	Cadre théorique : Etat de l'art	18
1.3.1	Conception et construction circulaire	18
1.3.2	Réemploi des matériaux	21
1.3.3	Construction et Frugalité en matières – Approche et principes	24
1.3.4	Aspect logistique – Business Model (Canvas)	28
1.4	Méthodologie	33
2	CHAPITRE 01. LA PIERRE BLEUE BELGE – HISTOIRE, EVOLUTION, PROPRIETES ET UTILISATION	37
2.1	Histoire et évolution des carrières en Wallonie	38
2.2	Minéraux et classification	42
2.3	Propriétés et caractéristiques de la pierre bleue	44
2.4	Usage de la pierre bleue et multifonctionnalité	46
2.5	Conclusion	50
3	CHAPITRE 02. ETAT EN USAGE DE LA PIERRE BLEUE BELGE	52
3.1	Approche macroscopique : Liège	54
3.2	Approche microscopique : cas d'étude – La Maison aux cariatides	59
3.2.1	Choix personnel	59
3.2.2	Contexte : Rue Louvrex	60
3.2.3	Architecte : Auguste Castermans	61
3.2.4	Le cas d'étude : La Maison aux cariatides	62
3.2.5	Analyse du gisement historique	66
3.2.6	Analyse du bâtiment aujourd'hui	69
3.2.7	Comparaison d'autres projets avec le cas d'étude	74
3.3	Extrapolation des données à l'échelle du territoire wallon	77
3.4	Conclusion : gisement existant dans le parc bâti et enjeux	79
3.5	Analyse du gisement actuel de la <i>Pierre Bleue Belge</i>	80
3.5.1	La découverte	81
3.5.2	Extraction	82
3.5.3	Equarrissage et Sciage	84
3.5.4	Façonnage et finition	86

3.5.5	Emballage	89
3.5.6	Transport et mise en œuvre.....	89
3.6	Consommation durant les étapes.....	90
3.6.1	Consommation des ressources	90
3.6.2	Consommation des eaux	91
3.7	Aspects physiques des produits.....	93
3.7.1	Formats (toute vente)	93
3.7.2	Fonctions (produits finis).....	93
3.8	Conclusion	95
4	CHAPITRE 03. APPROCHE LOGISTIQUE – DEFINITIONS ET DEVELOPPEMENT	98
4.1	Les enjeux de l'économie circulaire et du réemploi.....	99
4.1.1	Enjeux économiques :	99
4.1.2	Enjeux sociaux d'usage (juridiques) :	100
4.1.3	Enjeux environnementaux :	101
4.1.4	Enjeux logistiques et techniques :	102
4.2	Utilisation et modification du Business Model en vue d'un nouveau modèle circulaire.....	103
4.2.1	Utilisation et fonctionnement d'un Business Model <i>Canvas</i> « type »	104
4.2.2	Transition – D'un modèle économique linéaire vers un modèle économique circulaire	108
4.2.3	Exemples d'application du Business Model fondé sur une économie circulaire dans le secteur de la construction.....	111
4.3	Le Business Model actuel de la <i>Pierre Bleue Belge</i>	114
4.4	Conclusion	117
5	CHAPITRE 04. APPLICATION LOGISTIQUE – NOUVELLE FILIERE DE REEMPLOI – CAS : LES CARRIERES DE LA PIERRE BLEUE BELGE.....	119
5.1	Analyse des contraintes du Business Model de la Pierre Bleue Belge.....	120
5.2	Activation de nouveaux chaînages de réemploi et complémentarité avec les chaînages existants.....	122
5.3	Conclusion	130
6	CONCLUSION GÉNÉRALE	132
7	FIGURES	138
8	BIBLIOGRAPHIE	147

1 INTRODUCTION

1.1 Présentation de la problématique et enjeux

1.1.1 Contexte général – Réduction de l'utilisation de la pierre bleue belge

Malgré la longévité des pierres bleues, un constat déconcertant se dessine, puisque la reconnaissance de cette richesse géologique semble faire défaut. Les usages multiples et variés qu'a connus la pierre bleue durant les siècles passés ont manifestement subi une réduction significative au fil du temps, établissant ainsi un paradoxe entre la proximité des ressources et la préférence de la population belge pour des produits étrangers. Ce manque d'intérêt vis-à-vis du matériau local pose un défi multidimensionnel, impliquant des aspects économiques, politiques, sociaux et culturels.

Premièrement, sur le plan économique, il est impératif d'analyser les mécanismes sous-jacents qui contribuent à la diminution de l'utilisation de la pierre bleue. Des questions relatives à la disponibilité, à la compétitivité d'autres pierres, et aux coûts associés à l'extraction et à la découpe de ce matériau géologique doivent être examinées.

Comme le souligne Pierre Dethier, ancien président de l'ASBL Pierres et Marbres de Wallonie, la concurrence économique suscite une réflexion¹. En 2011, il a proposé la création d'un groupe de travail réunissant divers représentants tels que des ministres, l'ASBL Pierres et Marbres de Wallonie, et l'Union des Villes et Communes. Ce groupe a eu pour ambition de définir un cahier des charges regroupant des clauses sociales, éthiques et environnementales pour faire face à cette concurrence de plus en plus forte. Bien que cette proposition ait été acceptée en 2014 et qu'elle s'est efforcée d'évoluer au fil du temps, le chemin vers une utilisation locale visant à stimuler les fonds économiques des carrières belges est encore long².

En effet, l'utilisation de la pierre bleue en architecture, indépendamment de son lieu d'exploitation en Belgique, suscite moins d'intérêt ou d'enthousiasme de la part des maîtres d'ouvrage et des concepteurs de projet. On constate une diminution des chiffres d'affaires de chaque carrière en raison de l'importation de pierres étrangères, de l'adoption de matériaux de substitution tels que le grès cérame ou les produits résinés, ainsi que de l'utilisation croissante du béton³.

La concurrence étrangère, principalement d'origine asiatique, propose une gamme de pierres moins chère grâce, d'une part, à cause de l'exploitation d'une main-d'œuvre

¹ Dethier, P., (2014). « Pierres Wallonnes & Marchés publics ». Pierres et Marbres Wallonie. 16 pages. En ligne : https://www.federationpierrebleue.be/app/download/9794598524/PMW-circulaire_marcourt.pdf?t=1403798916 (Consulté le 10 mai 2024).

² Idem

³ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

moins coûteuse⁴, et d'une autre part, suite aux exigences environnementales qui sont moins strictes qu'en Europe, ce qui facilite leur acceptation.

L'intérêt du maître d'ouvrage est d'obtenir une pierre esthétiquement semblable à la véritable sans réfléchir aux conséquences que ce marché concurrent engendre, telle qu'une durabilité moindre pour un impact environnemental élevé. Entre 2000 et 2010, on a déjà pu observer l'importance de l'importation par rapport à la production locale en Belgique⁵.

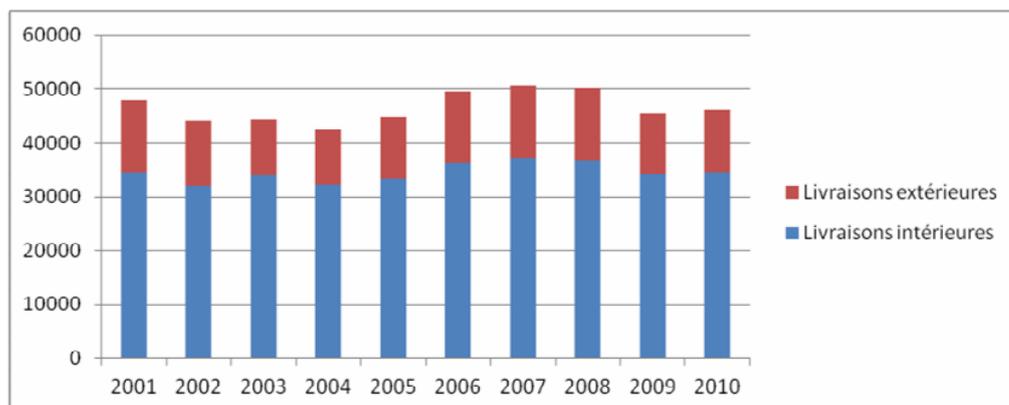


Figure 1 : « Evolution des livraisons totales en Wallonie (en milliers T) pour la période 2001-2010 ». Source : Girolimetto, F., Potty, E., (Octobre 2011). « Rapport final de la subvention 2010-2011. Actualisation du SDER ». CPDT. 30 pages. En ligne : https://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pdf/annexe-exploitation_sous-sol.pdf (Consulté le 28 mai 2024).

Les enjeux politiques associés à cette problématique méritent également une exploration approfondie. Les politiques publiques, les réglementations et normes, et les recommandations pour la mise en œuvre jouent un rôle prépondérant dans le domaine de construction, créant une restriction de son utilisation multifonctionnelle.

Les matériaux de construction, pour pouvoir être commercialisés en Europe, doivent se conformer à des normes spécifiques ainsi qu'à des objectifs qui leur sont assignés, permettant ainsi d'obtenir le marquage CE. Il s'agit de 7 exigences fondamentales basées sur l'intérêt public telles que les normes de résistance mécanique, les normes de sécurité en cas d'incendie, les normes sur l'hygiène, la santé et l'accessibilité, celles sur la protection contre le bruit, les normes d'économies d'énergie et d'isolation thermique et enfin celles sur l'utilisation durables des ressources naturelles⁶.

Ainsi, pour que le produit soit conforme et sécurisé il doit répondre à ces exigences d'échelle européenne pour atteindre un double objectif, comme l'explique Francis Tourneur, ancien secrétaire général de Pierres et Marbres de Wallonie⁷. D'une part, le marquage permet de sensibiliser le public à la pierre locale et d'une autre part, il

⁴ Pestre, T., (2022). « La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments ». Université d'Artois. Promoteur : Antczak, E. 239 pages. En ligne : <https://hal.science/tel-03521752v1/document> (Consulté le 15 juillet 2024).

⁵ Girolimetto, F., Potty, E., (Octobre 2011). « Rapport final de la subvention 2010-2011. Actualisation du SDER ». CPDT. 30 pages. En ligne : https://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pdf/annexe-exploitation_sous-sol.pdf (Consulté le 28 mai 2024).

⁶ Département expertises structures et géotechnique, (2020). « Memento technique 0.11 : Produits de construction, Marquage CE (réglementaire) ». SPW Mobilité infrastructures. 5 pages. En ligne : http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/memo_0_11_2020_FT_PBR.pdf (Consulté le 10 juillet 2024).

⁷ Braun, P., (2022). « La Pierre Bleue de Wallonie s'en remet à l'Europe pour assurer son avenir ». Les Echos. En ligne : <https://www.lesechos.fr/pme-regions/actualite-pme/la-pierre-bleue-de-wallonie-sen-remet-a-leurope-pour-assurer-son-avenir-1401042> (Consulté le 14 juillet 2024).

permet de mieux répondre aux marchés publics, qui se montrent de plus en plus sensibles à la notion de progrès social et environnemental⁸.

Bien que la pierre bleue soit écologiquement certifiée et possède ce marquage, aucune norme ne régule actuellement son utilisation, en réemploi, dans la construction⁹, comme pour la plupart des matériaux de réemploi car le marquage CE est considéré comme une option et non comme une obligation pour ce type de produits de seconde main¹⁰.

Avec les normes actuelles de performances énergétiques exigeant une épaisseur minimale d'isolation¹¹, la pierre bleue a perdu une bonne part de marché au niveau du bâtiment. Ainsi, les soubassements en pierre massif eu égard à la faible porosité de la pierre sont remplacés par des épaisseurs d'isolation extérieure. L'usage de la pierre se résume donc à une pelure décorative agrafées ou collées peu compatible avec des objectifs de démontabilité et de réversibilité¹². Les seuils de fenêtre sont remplacés par des lames métalliques.

À l'origine matériau structurant, la pierre bleue est devenue matériau décoratif, malgré des propriétés mécaniques et hygrothermiques qui pourraient être (re)misés à profit dans de nouveaux modes constructifs¹³.

Enfin, sur le plan social et culturel, l'éloignement progressif de la population belge de son héritage pierreux soulève des interrogations quant aux dynamiques socioculturelles prédominantes. Des facteurs tels que les préférences esthétiques changeantes, les modes de consommation influencés par des mouvements évolutifs, et la perception sociétale de la valeur symbolique de la pierre bleue sont des aspects à considérer. L'analyse devrait s'attarder sur la manière dont les perceptions culturelles de la pierre bleue évoluent au fil du temps, et comment ces changements influent sur son utilisation et son appréciation au sein de la société belge contemporaine.

Avant 1945, la pierre naturelle prévalait en tant que matériau de construction dominant¹⁴. On retrouvait des minières néolithiques de silex, ainsi que des mégalithes et des murs cyclopéens. Par la suite, des monuments du Moyen Âge et de la Renaissance ont été édifiés en pierre naturelle. De manière plus contemporaine, différents types de logements, tels que des appartements, des villas et des maisons de maître, ont également été construits en pierre naturelle¹⁵. Toutefois, de nos jours,

⁸ Idem

⁹ « Pierres naturelles : Clauses pour marchés publics responsables ». (2018). SPW. 16 pages. En ligne : [https://marchespublics.wallonie.be/files/March%C3%A9s%20publics%20responsables/pierres%20naturelles-mpr%20-%20finale\(1\).pdf](https://marchespublics.wallonie.be/files/March%C3%A9s%20publics%20responsables/pierres%20naturelles-mpr%20-%20finale(1).pdf) (Consulté le 14 juillet 2024).

¹⁰ Seys, S., (Rotor). (2017). « Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction : Un meilleur cadre pour le réemploi de produits, pas d'obligation de marquage CE et un système d'évaluation ad hoc ». BBSM. 94 pages. En ligne : <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf> (Consulté le 10 juin 2024).

¹¹ « Foire aux Questions PEB 2010 – 2015 ». (2022). Wallonie énergie SPW. 156 pages. En ligne : https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/faq-peb_decembre-2022_221224.pdf?ID=59499 (Consulté le 17 mai 2024).

¹² Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

¹³ Idem

¹⁴ Bisoffi-Sauve, M., (2016). « Etude des ouvrages maçonnés en Pierre par la méthode des éléments discrets – Caractérisation et modélisation du comportement cohésif des joints ». Université de Bordeaux : Ecole doctorale des Sciences Physiques et de l'Ingénieur spécialité « Mécanique ». Promoteur : Morel, S. 191 pages

¹⁵ Pestre, T., (2022). « La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments ». Université d'Artois. Promoteur : Antczak, E. 239 pages. En ligne : <https://hal.science/tel-03521752v1/document> (Consulté le 15 juillet 2024).

cette vérité est contournée, les pierres étant fréquemment qualifiées de matériaux archaïques ou vernaculaires. La conservation du patrimoine architectural et l'innovation contemporaine sont en conflit, car le bâti actuel est considéré comme un bien de consommation et non plus comme un patrimoine familial. Ainsi, la pierre naturelle a subi les conséquences de cette évolution, entraînant des préjudices pour le patrimoine local. La notion de patrimoine, définie comme la préservation de la richesse d'un lieu, est remise en question par ce mouvement moderne avec lequel elle peine à cohabiter. Depuis le 20^{ème} siècle, de nouveaux matériaux performants tels que le béton et l'acier ont pris des parts de marché aux matériaux pierreux, malgré leur longue histoire et leur pérennité reconnue. Cette évolution est due à la liberté créative et à la rupture avec le passé prônée par le mouvement moderne et la révolution industrielle qui l'a initié¹⁶. Cette dernière a développé des besoins à la suite des évolutions mondiales, et donc l'intérêt pour la diversification des matériaux s'est manifesté, laissant ainsi un « hyperchoix des matériaux »¹⁷.

Toutefois, « *Si, aujourd'hui, il est loisible d'obtenir sur chantier des pierres naturelles extraites à l'autre bout du monde, il faut cependant rappeler que la pierre naturelle est un matériau local ou régional, qui établit un lien étroit et significatif avec la région d'extraction* »¹⁸. Ainsi, le lien étroit et le lieu sont à prendre en considération afin de représenter le patrimoine culturel du pays. L'objectif n'est pas d'éradiquer les matériaux non naturels mais de concilier patrimoine et innovation répondant aux différents enjeux.

En synthèse, la résolution de cette problématique exige une compréhension approfondie des multiples facettes économiques, sociales, politiques, et culturelles qui y sont intrinsèquement liées. Identifier ces défis et facteurs sous-jacents constitue une étape cruciale vers une réintégration plus fructueuse de la pierre bleue dans le tissu social et économique de la Belgique. Cette analyse des problématiques permettra d'entreprendre une solution pour les éviter aux mieux et prévenir des enjeux existants.

1.1.2 Contexte environnemental de la pierre bleue belge

Dans un contexte où le secteur de la construction est au cœur des préoccupations environnementales, la pierre bleue est confrontée à des défis majeurs. En effet, différentes initiatives politiques récentes ont vu le jour, telles que le Green Deal¹⁹ et la

¹⁶ Ombeline, T., (2020). « La pierre dans l'architecture contemporaine. Représentations et usages ». Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux. Promoteur : Chadouin, O. 123 pages.

¹⁷ Brechet, Y., (2013). « La science des matériaux : du matériau de rencontre au matériau sur mesure ». La Lettre du Collège de France. N°36. 7 pages. En ligne : <https://doi.org/10.4000/lettre-cdf.1612> (Consulté le 18 mai 2024).

¹⁸ Trachte, S., (2012). « Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable. » Université catholique de Louvain, LOCI. Promoteur : De Herde, A. 398 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/112728> (Consulté le 18 mai 2024).

¹⁹ « Le pacte vert pour l'Europe ». (2019). Commission européenne. 28 pages. En ligne : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF (Consulté le 20 juin 2024).

Renovation Wave Initiative²⁰, visant une neutralité carbone avec un objectif de diminution des émissions de gaz à effet de serre de l'UE d'au moins 55% d'ici 2030 permettant de lutter contre le réchauffement climatique et améliorer la qualité de vie²¹.

Ce besoin d'agir découle de la responsabilité sociétale liée au principe de l'offre et de la demande. Cependant, on remarque que c'est le monde industriel, dont la construction, qui porte en grande partie cette responsabilité en générant le plus de pollution. En effet, en 2022, les trois principaux facteurs ayant le plus d'impact sur l'environnement sont issus des activités industrielles. Ces facteurs comprennent les consommations énergétiques dans l'industrie (12,1%), les transformations énergétiques (17,9%) et les processus industriels (16,3%) mis en œuvre dans le cadre du développement d'une entreprise type²².

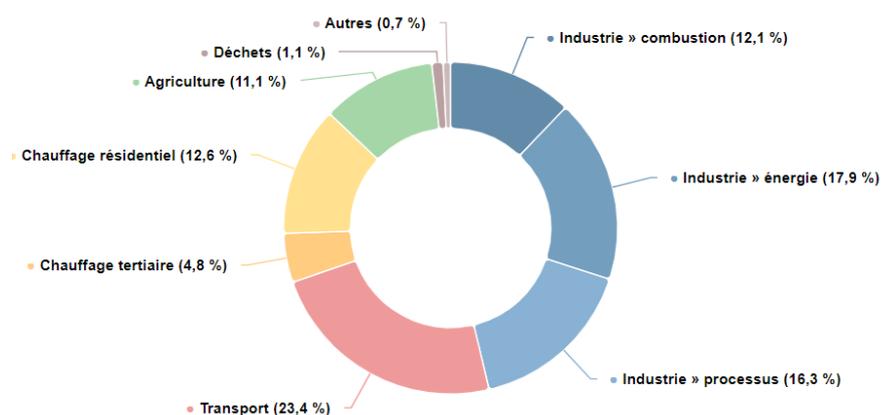


Figure 2 : « Part des différents secteurs dans les émissions totales ». Source : « Emissions par secteur ». (n. d.) Santé publique Sécurité de la chaîne alimentaire Environnement. En ligne ; <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur> (Consulté le 23 mai 2024).

La consommation énergétique des matériaux s'associe également au matériau lui-même. En effet, l'impact de chaque matériau de constructions varie selon le cycle de vie de celui-ci.

La pierre bleue belge a fait l'objet de plusieurs analyses sur le cycle de vie (ACV)²³, montrant des résultats positifs en termes de durabilité. Cependant, les résultats se sont montrés bas au regard d'autres produits artefacts. C'est alors, qu'au-delà des exigences réglementaires, les carrières de Pierre Bleue Belge, auteur de cette étude, vise à une politique de diminution de consommation énergétique, d'hydrocarbures ainsi que dans la gestion de préconisation des trois gisements exploités²⁴.

²⁰ Scott-Smith, Z., (2020). « EU's Renovation Wave Initiative : Delivered with cities and citizens ». Euro cities. 11 pages. En ligne : https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/eurocities-policy-paper-renovation-wave_final_10092020.pdf (Consulté le 20 juin 2024).

²¹ Idem

²² « Emissions par secteur ». (n. d.) Santé publique Sécurité de la chaîne alimentaire Environnement. En ligne ; <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur> (Consulté le 23 mai 2024).

²³ Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

²⁴ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 26 juin 2024.

Présentant une longévité et un caractère robuste, tout en étant recyclable et réutilisable, la pierre bleue peut s'inscrire dans plusieurs cycles d'utilisation, limitant ainsi l'exploitation de nouvelles ressources. Disponible localement, elle réduit les émissions de carbone relatives au transport. Son aspect naturel ainsi que la gamme de textures et coloris obtenus grâce aux différents traitements mécaniques, en fait un choix esthétique pour diverses applications architecturales. C'est ainsi que, l'adoption de pratiques d'économie circulaire et la sélection judicieuse des matériaux de construction jouent un rôle crucial dans la préservation de l'environnement, en s'appuyant sur des critères tant quantifiables que non quantifiables. En évaluant l'impact environnemental d'un produit tout au long de son cycle de vie, il est essentiel de considérer la consommation de ressources énergétiques et non énergétiques, ainsi que la quantification des émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol, et la gestion des déchets. Cette évaluation permet de prendre en compte les impacts sur le paysage, la biodiversité et la santé humaine, induits notamment par les activités extractives et l'utilisation de matériaux de construction. Une approche circulaire favorise la réutilisation, le recyclage et la valorisation des matériaux, réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles et limitant les impacts négatifs sur l'environnement et la santé humaine.

Alors que l'entreprise exploitant la pierre bleue présente une politique de « zéro déchet », Benoit Misonne explique que l'objectif est de réduire l'impact environnemental du cycle extraction/production/façonnage²⁵. En effet, des stations d'épuration ont été créées, des systèmes visant à diminuer les émissions de poussières ont été mis en place, et une collecte de déchets réutilisables a été instaurée²⁶. Cependant, même si l'impact est moindre par rapport à d'autres types d'industries, la neutralité carbone n'est pas encore atteinte, et il reste du chemin à parcourir pour réduire la consommation énergétique²⁷. Les premières étapes du cycle de vie de la pierre bleue nécessitent une quantité considérable d'énergie. Cette énergie est mobilisée dès la phase d'extraction, première étape de l'exploitation, jusqu'à la mise en œuvre du matériau. En effet, l'utilisation de machines, de moyens de transport et de main-d'œuvre est incontournable. Le rythme constant auquel les carrières opèrent leur permet d'atteindre une certaine efficacité. Même en cas de réduction de la production pour une consommation moindre, cela pourrait compromettre la valeur de revalorisation des pierres bleues, car un tel acte pourrait être perçu comme une fragilité de l'entreprise. De plus, cela ne ferait que décaler l'impact environnemental, qui resterait globalement inchangé.

²⁵ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

²⁶ Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

²⁷ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

C'est ainsi que le choix du réemploi est une solution qui amènera à présenter le matériau davantage écologique et se projetant dans un avenir neutre en carbone et durable.

ECHELLE DE LANSINK

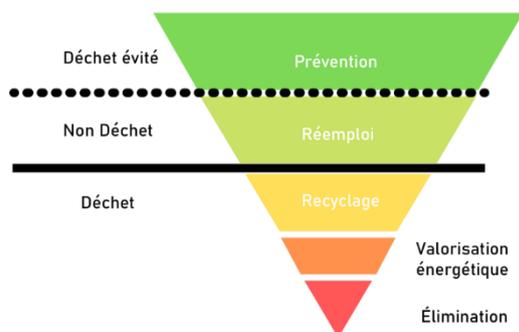


Figure 3 : « Echelle de Lansink ». Source : « La hiérarchie des modes de traitement des déchets devant les juridictions : de l'incantation à l'application ». (2019). Zero Waste France. En ligne : <https://www.zerowastefrance.org/hiérarchie-modes-traitement-dechets-juridictions-jurisprudence-application/> (Consulté le 20 juillet 2024).

1.2 Question de recherche et objectifs

Alors que l'impact environnemental par le secteur de la construction est un enjeu important à considérer, les usagers ne le considèrent pas encore assez en achetant et en utilisant les matériaux selon différents facteurs : le choix esthétique, les prescriptions urbanistiques et les caractéristiques tant techniques qu'économiques²⁸.

Selon le Parlement Européen, ces émissions contribuent à un changement climatique qui, à son tour, provoque des phénomènes météorologiques extrêmes tels que les inondations, les sécheresses, les déluges, les vagues de chaleur, et d'autres conséquences naturelles susceptibles de devenir irréversibles²⁹.

Ainsi, que ce soit dans le domaine architectural ou dans la production industrielle, les émissions polluantes générées par l'utilisation de combustibles carbonés lors des phases de production, les produits eux-mêmes, ainsi que les déchets produits, sont responsables de ce phénomène. La consommation des ressources naturelles dépasse la capacité de l'écosystème terrestre à les renouveler (biocapacité).

L'OCDE démontre cela en signalant une augmentation de 65% de la quantité de ressources par rapport à 1980³⁰. Les écosystèmes se dégradent en raison de la disparition de la biodiversité, de la perte du patrimoine naturel, des changements climatiques, de la dégradation des sols et de la pollution des océans³¹.

Le choix de matériaux locaux et peu polluants dans le secteur de la construction se présente comme une alternative écologique mais est parfois mal défini³². Il est donc important de bien choisir son matériau « durable », et pour se faire comme le précise Bruxelles Environnement dans son séminaire « *Matériaux de construction durable, les dernières nouveautés* »³³ il faut analyser :

- L'épuisement des ressources naturelles et la problématique des déchets ;
- La prise en compte de l'évolution du bâtiment tout au long de son cycle de vie ;

²⁸ « Le choix judicieux des matériaux : A quoi faire attention ? Info-fiches eco-construction pour particuliers ». Brux Envir. 6 pages. En ligne : https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/IF_Eco_construction_MAT13_Part_FR.pdf (Consulté le 20 juin 2024).

²⁹ Ohliger, T., (2017). « Changement climatique et environnement ». Parlement Européen. 5 pages. En ligne : [https://www.europarl.europa.eu/ReqData/etudes/fiches_techniques/2013/050402/04A_FT\(2013\)050402_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/ReqData/etudes/fiches_techniques/2013/050402/04A_FT(2013)050402_FR.pdf) (Consulté le 25 mai 2024).

³⁰ Van Lierde, G., (2015). « Développement d'un cluster en économie circulaire : cas de la Région de Bruxelles-Capitale ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Gailly, B. 48 pages. En ligne : <https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/object/thesis:2829> (Consulté le 26 mai 2024).

³¹ « L'économie circulaire, pour une Europe compétitive ». (2015). Ellen Macarthur Foundation, Sun, McKinsey Center for Business and Environment. 10 pages. En ligne : https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Note-de-Synthese_FR_Growth-Within.pdf (Consulté le 23 mai 2024).

³² Billiet, L., Dinaer, L., De Lathauwer, D, et al. (2016). « Matériaux de construction durable, les dernières nouveautés. ». Brux. Envir. 146 pages. En ligne : https://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/PRES_160129_SEM12_MateriauxDurable_FR.pdf (Consulté le 10 mars 2024).

³³ Idem

- La récupération, la réutilisation, le recyclage des matériaux ;
- Les impacts des matériaux sur la santé humaine ;
- L'essor des systèmes / outils / labels de reconnaissance environnementale.

Cependant, d'autres facteurs comme expliqué dans la partie « *problématique* » tels que le prix, les normes et l'ancienneté obsolète freinent à cette résolution écologique. Ainsi, en répertoriant les matériaux de constructions locaux bio et géo-sourcés, qui répondent à ces différents critères mais qui sont impactés par le manque d'utilisation, la pierre bleue belge a été ciblée pour faciliter sa réintégration dans un domaine moins polluant et plus accessible grâce au développement innovant de la pierre bleue de réemploi.

On retrouve comme sujet principal : « **Réemploi de la pierre bleue belge, comment concilier patrimoine et circularité des matières par l'activation de nouvelles activités logistiques** ».

Elle vise à répondre aux objectifs suivants :

- Réduire les impacts environnementaux en favorisant la réutilisation de la pierre bleue belge, matériau durable et local ;
- Développer le marketing et l'utilité de la pierre bleue belge pour sa réintégration dans le secteur de la construction, en tant que matériau de réemploi ;
- Valoriser la valeur patrimoniale de la pierre bleue belge.

Les objectifs spécifiques et ciblés que la question de recherche abordera sont les suivants :

- Évaluer le gisement actuel de la pierre bleue et confirmer les enjeux qui lui sont associés ;
- Proposer un nouveau modèle économique mettant en avant le réemploi au sein d'une entreprise exploitant la pierre bleue ;
- Favoriser la réintégration de la pierre bleue en construction et en architecture, en le présentant comme un matériau de grande valeur, grâce à ses propriétés multifonctionnelles et très intéressantes.

1.3 Cadre théorique : Etat de l'art

La structure de l'état de l'art se décomposera en quatre parties distinctes. La première partie abordera la question de la conception et la construction circulaire. Ensuite, une série d'études s'appuieront sur l'approche du réemploi, démontrant son importance dans l'économie circulaire. La frugalité dans l'utilisation des matériaux sera également traitée afin de comprendre l'approche et les principes sous-jacents. Enfin, la question du Business Model et de l'importance des chaînes logistiques seront abordées.

1.3.1 Conception et construction circulaire

L'économie circulaire présente des critères et caractéristiques variés selon les perspectives individuelles, rendant une définition unique difficile à établir. L'étude menée en 2017 par Julian Kirchherr et M.P. Hekkert, intitulée « *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions* »³⁴, a identifié près de 114 définitions pertinentes de l'économie circulaire. Cette recherche vise à explorer la complexité et l'étendue de l'appropriation de ce concept. Les chercheurs ont ainsi pu identifier 17 éléments fondamentaux communs à cette économie en analysant la fréquence de ces éléments dans chaque définition. Grâce à cette approche, ils ont pu distinguer les aspects convergents et divergents, offrant ainsi une vision plus claire de l'économie circulaire. Les chercheurs ont également développé un codage et un lexique manuel associé au concept, facilitant ainsi sa compréhension. Ils ont adopté une approche englobant les visions macro, méso et micro, en commençant par une analyse de l'économie globale pour ensuite se concentrer plus spécifiquement sur les entreprises et leur interprétation de l'économie circulaire. À travers leur analyse, ils ont contextualisé l'économie circulaire en s'appuyant sur des études, des concepts et des codages clés³⁵.

Cependant, bien que cette étude soit basée sur une analyse statistique, elle reste subjective. Il est donc important de se concentrer sur la qualité des analyses plutôt que sur la quantité, afin de ne pas compromettre la clarté et l'intégrité du concept de l'économie circulaire.

Ainsi, le domaine de l'économie circulaire reconnaît la Fondation Ellen Macarthur comme un acteur clé dans cette recherche, mettant en avant son rôle central dans l'étude de la conception circulaire en réponse à l'impact environnemental. L'analyse du sujet sur l'économie La fondation a écrit plusieurs études, traitant du sujet de l'économie circulaire et des facteurs qui contribuent au bon fonctionnement environnemental du monde³⁶. De plus la fondation a établi un diagramme permettant de mieux comprendre le concept. L'article, nommé « *The Butterfly Diagram* :

³⁴ Kirchherr, J., (2017). « *Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions* ». *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

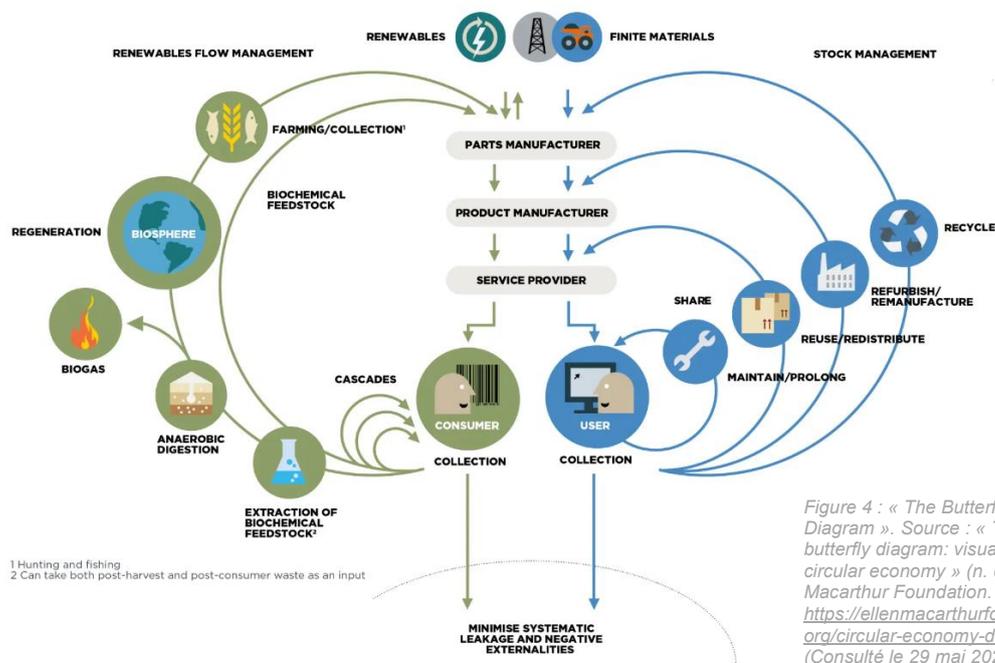
³⁵ Idem

³⁶ « *It's time for a circular economy* ». (n. d.). Ellen Mcarthur Foundation. En ligne : <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> (Consulté le 9 février 2024).

visualising the circular economy »³⁷, illustre l'économie circulaire, qui vise à maintenir les produits, matériaux et composants à leur plus haute valeur en dissociant la croissance économique du développement. Il distingue deux types de cycles : les cycles techniques et biologiques.

Dans les cycles techniques, les composants et matériaux sont maintenus en circulation aussi longtemps que possible, notamment en réparant et réutilisant les produits pour prolonger leur durée d'utilisation. Cela réduit la nécessité de produire de nouveaux biens, économisant ainsi des ressources. Même en fin de vie, la plupart des matériaux conservent de la valeur et peuvent être recyclés ou réutilisés pour d'autres applications.

Les cycles biologiques visent à restaurer les nutriments dans la biosphère en utilisant des matériaux biodégradables, renouvelables et en les recyclant dans un cycle naturel. Cette approche optimise les produits en leur donnant une valeur ajoutée et en minimisant les déchets, contribuant ainsi à une meilleure gestion des ressources et à la préservation de l'environnement.



Étant donné que la neutralité carbone est un objectif commun à l'ensemble de l'Europe, la Commission Européenne s'est également engagée à promouvoir l'économie circulaire comme modèle économique, dans le cadre du Pacte vert³⁸. Ce modèle vise à maximiser l'utilisation des ressources existantes et à réduire la production de déchets. Alors, il sera possible de prolonger la durée de vie des produits, de favoriser le recyclage et la réutilisation, et de réduire la dépendance aux ressources vierges. Grâce à cette initiative politique, l'Union Européenne permet, grâce à son autorité

³⁷ « The butterfly diagram: visualising the circular economy » (n. d.). Ellen Macarthur Foundation. En ligne : <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram> (Consulté le 29 mai 2024).

³⁸ « Comment parvenir à une économie circulaire d'ici 2050 ? ». (2024). Parlement européen. 6 pages. En ligne : https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2021/2/story/20210128STO96607/20210128STO96607_fr.pdf (Consulté le 24 juillet 2024).

significative, de sensibiliser davantage l'ensemble de la population européenne. Les objectifs concernant l'économie circulaire incluent la réduction de l'empreinte environnementale et de la consommation de ressources de l'Union européenne, tout en encourageant l'innovation, les entreprises durables et les produits neutres pour le climat et non toxiques. Pour atteindre ces objectifs de diffusion du concept, la Commission propose par leur document de 2021, « *un nouveau plan d'action pour une économie circulaire* »³⁹ prévoyant des mesures telles que l'adoption d'un cadre pour une politique de produit durable, l'encouragement de la responsabilisation des consommateurs et des acheteurs publics, ainsi que le renforcement de la circularité des processus de production.

Cette recherche a conduit à la rédaction de nombreux articles détaillant le sujet et ses modalités, notamment dans le secteur de la construction. Par exemple, le groupe de recherche du Buildwise a publié en 2020 un document intitulé « *Vers une économie circulaire dans la construction* »⁴⁰. Les scientifiques ont mis en évidence différents enjeux de l'économie circulaire dans le domaine de la construction à travers des étapes. Chacune de ces étapes sont accompagnées d'exemples. L'objectif est d'apporter des informations et des détails sur le processus à suivre pour permettre de construire au sein d'une économie circulaire. La première étape mentionne qu'au début d'un projet, choisir entre rénover ou construire, sélectionner un emplacement optimal et prévoir la fin de vie du bâtiment sont essentiels pour une approche durable de la construction. Ensuite, les chercheurs montrent dans l'étape suivante qu'il est crucial de concilier les objectifs de circularité avec les contraintes techniques et les coûts dans la planification, en prévoyant une structure modulable pour permettre des modifications ultérieures. Dans la troisième étape, choisir des matériaux démontables et réutilisables, recyclables ou naturels vise à favoriser la circularité et à réduire l'impact environnemental, bien que celui-ci puisse varier selon les cas. Pour favoriser l'adaptabilité et le réemploi des éléments et matériaux de construction en fin de vie, il est crucial de privilégier la modularité avec des dimensions standard, la compatibilité entre les matériaux, ainsi que l'utilisation de fixations réversibles, notamment des fixations mécaniques, pour faciliter le démontage. Enfin, l'entrepreneur doit collaborer avec l'auteur du projet pour assurer la faisabilité des solutions envisagées. Certaines solutions circulaires offrent des avantages pratiques, malgré des défis techniques possibles, et les surcoûts peuvent être compensés par des approches d'appel d'offres ou de financement différentes.

Toutes ces recherches sont récentes et soulignent l'importance de promouvoir une économie circulaire et un développement durable des ressources. Il est donc essentiel d'adopter une approche critique dans l'analyse du cycle de vie des matériaux, notamment de la pierre bleue, afin de l'améliorer en envisageant des solutions complémentaires. L'objectif est d'assurer la neutralité carbone d'ici 2050, notamment

³⁹ « Nouveau plan d'action pour une économie circulaire ». (2021). Parlement européen. 2 pages. En ligne : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2021/679066/EPRS_ATA\(2021\)679066_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2021/679066/EPRS_ATA(2021)679066_FR.pdf) (Consulté le 14 mars 2024).

⁴⁰ « Vers une économie circulaire dans la construction ». 2020. Buildwise. 36 pages. En ligne : https://www.buildwise.be/media/211jhwqu/contact_fr_01_2020.pdf (Consulté le 15 mars 2024).

par le réemploi de cette pierre. En intégrant ces conclusions dans des politiques et des pratiques industrielles, il est possible de faire progresser de manière significative les objectifs de durabilité et de réduction de l'empreinte environnementale à l'échelle mondiale. Les différentes études examinées fournissent une diversité de perspectives sur l'économie circulaire, mais convergent vers des points communs significatifs. Bien que les définitions varient, toutes mettent l'accent sur l'importance de maximiser l'utilisation des ressources existantes, de prolonger la durée de vie des produits, et de favoriser le recyclage et la réutilisation. Ces études se complètent en offrant des analyses détaillées sur divers aspects de l'économie circulaire, allant de la conceptualisation à la mise en œuvre pratique dans des domaines spécifiques tel que la construction.

1.3.2 Réemploi des matériaux

Plusieurs projets visent à réduire les impacts que les matériaux en fin de vie engendrent dans le domaine de la construction. Le réemploi de la pierre bleue doit suivre une trajectoire sur base des différentes analyses existantes afin de générer ce cycle économique recherché.

Le projet Interreg FCRBE, mené par Bruxelles Environnement et Rotor, ainsi que d'autres groupes scientifiques en Belgique, en France et au Royaume-Uni, vise à promouvoir le réemploi des matériaux avec une utilisation de plus de 50% d'ici 2032. Les objectifs du projet sont de comprendre les enjeux du réemploi avant, pendant et après le processus, et de définir des solutions. Ainsi, les chercheurs ont développé sept livrets abordant différents sujets par rapport au réemploi, tels que « *l'analyse du cycle de vie des matériaux et de leur impact environnemental* »⁴¹, « *l'évaluation de leur performance technique et les exigences adjacentes* »⁴², « *les traitements de surface pour répondre à leur future fonction* »⁴³, « *la définition et la différenciation des termes "déchet" et "réemploi"* »⁴⁴, « *la stratégie à adapter pour encourager le réemploi* »⁴⁵, « *l'utilisation des matériaux de réemploi dans la haute couture* »⁴⁶, et « *les études de gisement urbain pour une propagation du matériau de réemploi* »⁴⁷. Ce dernier point

⁴¹ Douguet, E., (Buildwise) Wagner, F., (CSTB) (2021). « FutuREuse - Les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 23 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15808/bookletfcrbefr-1_impact_environnemental.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

⁴² Nasserredine, M., (CSTB) Poncelet, F., (Buildwise) (2021). « FutuREuse - Evaluer la performance technique des matériaux de construction de réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15812/bookletfcrbefr2_evaluation_performances.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

⁴³ Cortés Garcia, E., (Rotor) (2021). « FutuREuse - Entre patine et peau neuve : Les traitements de surface des matériaux de réemploi ». FutuREuse. 18 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15810/bookletfcrbefr-3_traitements_surfaces.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

⁴⁴ Naval, S., (Rotor) (2021). « FutuREuse - Produit ou déchet : Critères pour le réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 22 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15809/bookletfcrbefr-4_produit_dechet.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

⁴⁵ Gobbo, E., (Brux. Envir.) (2021). « FutuREuse - Construire une feuille de route : Stratégie pour encourager le réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15813/bookletfcrbefr-5_feuille_de_route.pdf (Consulté le 28 mars 2024).

⁴⁶ Moles, B., Morel, S., (Salvo) (2021). « FutuREuse - Réemploi is the new black : Comment les matériaux de réemploi ont investi les boutiques de haute-couture ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15814/bookletfcrbefr7_mode_r%C3%A9emploi.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

⁴⁷ Gobbo, E., (Brux. Envir.) (2021). « FutuREuse - La ville comme réserve de matériaux : Comprendre les études de gisement urbain ». Interreg NW Europe FCRBE. 32 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15811/bookletfcrbefr-6_metabolisme_urbain.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

est assez important dans le cadre de ce travail de fin d'études car il revient à l'importance d'identifier le gisement actuel de la pierre bleue afin de permettre un remanufacturing par le réemploi de ce matériau. Le projet propose des plans d'action incluant la sensibilisation, l'identification des opportunités, le développement de filières, l'intégration dans les politiques publiques, la collaboration entre les acteurs et la communication au grand public. Les livrets offrent des méthodologies, des bénéfices et des recommandations pour favoriser la circularité des matériaux de construction dans les territoires urbains. Ils démontrent également que les matériaux de réemploi peuvent être utilisés dans n'importe quel environnement, y compris dans des contextes prestigieux tel que la haute couture.

D'après le projet FEDER-BBSM réunissant 4 partenaires clés (Rotor, UCL, VUB et Buildwise), il est essentiel de « *démontrer que les matériaux de fin de vie sont des ressources et que leur réintroduction dans un processus cyclique de production de « nouveaux » matériaux est positive pour le développement durable de la Région de Bruxelles-Capitale (RBC)* »⁴⁸. C'est ainsi que plusieurs chercheurs ont développé le projet nommé Bâti Bruxellois Source de nouveaux Matériaux (BBSM), se répartissant en 10 workpackage, correspondant à un ensemble d'études complémentaires. Différents enjeux économiques, sociaux et économiques en ressortent comme les coûts, la logistique complexe, la qualité des matériaux non assurée mais aussi le manque de sensibilisation des matériaux de réemploi dans le secteur. Plusieurs chercheurs, dont Sophie Trachte et Morgane Bos, se sont consacrés à la recherche et la retranscription du 3^{ème} et 4^{ème} workpackage qui ont pour objectif de réduire les « déchets » en abordant les aspects liés aux filières de réemploi des matériaux de construction dans la région, et en mettant en évidence les pratiques actuelles, les défis et les opportunités associées. Pour ce faire, les chercheurs appliquent une approche de type bottom-up, allant d'une échelle plus large vers une plus réduite, afin de partir d'une typologie régionale et d'y diffuser les matériaux locaux. Les chercheurs examinent alors les flux de matériaux de construction et l'apparition de déchets, les acteurs qui y sont associés, les méthodes de collecte, de tri, de traitement et la valorisation du réemploi.



Figure 5 : « Les différentes déclinaisons du déchet de construction ». Sources : Bos, M., Trachte, S., et al. (UCL) (2021). « Projet Feder BBSM : rapport scientifique WP3/4 – Analyse des filières existantes en RBC ». BBSM. 159 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/257593> (Consulté le 28 mars 2024)

⁴⁸ Bos, M., Trachte, S., et al. (UCL) (2021). « Projet Feder BBSM : rapport scientifique WP3/4 – Analyse des filières existantes en RBC ». BBSM. 159 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/257593> (Consulté le 28 mars 2024)

Ce projet met également en évidence des interventions comme celui rédigé par Michaël Ghyoot « *Objectif réemploi Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale* »⁴⁹. Il s'agit d'un document dont l'objectif est de comprendre l'intérêt de réemployer des matériaux en fin de vie. La réutilisation des éléments de construction offre une solution intégrée et durable aux défis contemporains en présentant des avantages environnementaux, sociaux et culturels significatifs. En limitant l'extraction de nouvelles ressources et en prolongeant la durée de vie des matériaux existants, le réemploi réduit l'impact environnemental du cycle de vie des matériaux de construction, tout en minimisant la quantité de déchets envoyés à l'élimination. Parallèlement, le développement des filières de circularité offre des opportunités d'emploi locales, en particulier pour les travailleurs peu qualifiés, en nécessitant une main-d'œuvre diversifiée englobant des compétences allant de l'identification des matériaux à leur remise en œuvre. En remettant le travail au cœur de la production de valeur, cela favorise une économie locale et durable, créant des emplois non délocalisables. De plus, cette gestion des ressources contribue à préserver les aspects culturels et historiques des bâtiments en conservant leur valeur patrimoniale et en transmettant les savoir-faire associés, renforçant ainsi le lien entre les communautés et leur environnement bâti.

Plusieurs concepts, dont celui des 9R, ont été développés pour guider ces efforts. En effet, le concept des 9R a pour objectif de limiter la consommation de ressources naturelles, d'encourager une extraction durable et d'assurer la sécurité d'approvisionnement, tout en minimisant les déchets et les émissions et en préservant le capital naturel. Les 9R sont présentés comme une évolution du concept des 3R (Réduction, Réemploi, Recyclage), destinés à promouvoir une économie circulaire plus avancée. Ils offrent une approche plus holistique pour lutter contre la consommation excessive de ressources naturelles, encourager une extraction durable des ressources et minimiser les déchets et les émissions. L'étude menée par l'Agence d'évaluation environnementale des Pays-Bas (PBL) et l'Université d'Utrecht sur les transitions vers une économie circulaire met en évidence l'importance de cette approche, en soulignant que les stratégies de circularité de haut niveau nécessitent des changements socio-institutionnels significatifs en complément de l'innovation technologique⁵⁰. Ainsi, les 9R contribuent à catégoriser et à hiérarchiser les actions nécessaires pour progresser vers une économie circulaire, fournissant un cadre conceptuel pour orienter les politiques et les initiatives dans ce domaine.

⁴⁹ Ghyoot, M., (2017). « *Objectif réemploi : Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale* ». BBSM. 70 pages. En ligne : https://rotordb.org/sites/default/files/2019-10/OBJECTIF_REEMPLOI.pdf (Consulté le 15 mars 2024).

⁵⁰ Hanemaaijer, A., Hekkert, M., et al. (2017). « *Circular economy : Measuring innovation in the product chain* ». PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 46 pages. En ligne : <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf> (Consulté le 2 février 2024).

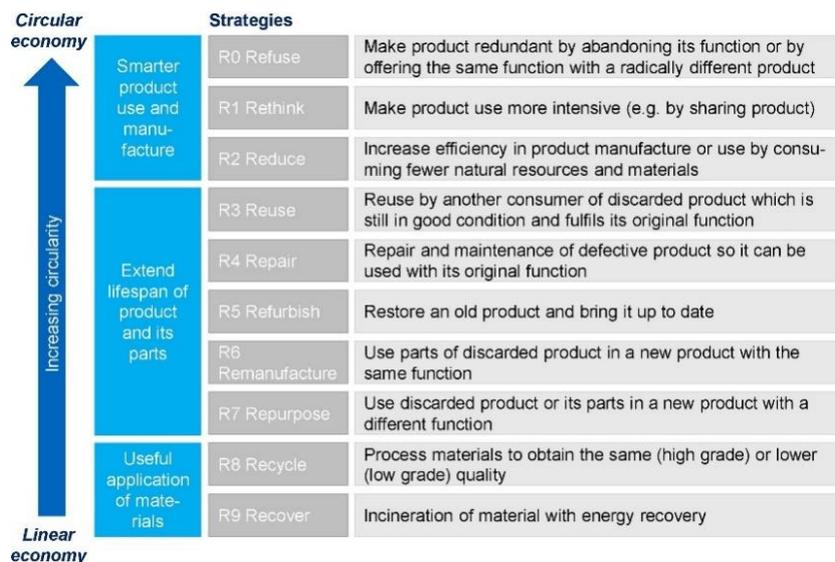


Figure 6 : « Comparative scheme between linear and circular economy ». Kirchherr, J., (2017). « Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions ». *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

Les initiatives et les études examinées mettent en lumière l'importance cruciale du réemploi des matériaux de construction dans la transition vers une économie circulaire et durable. En intégrant le réemploi dans les pratiques industrielles et les politiques publiques, il est possible de réduire l'impact environnemental, de créer des emplois locaux et durables, et de préserver les aspects culturels et historiques du patrimoine bâti. Ces résultats montrent que le réemploi des matériaux de construction représente une stratégie efficace et prometteuse pour construire un avenir plus résilient et respectueux de l'environnement. De plus, l'évolution du concept des 3R vers les 9R souligne l'importance d'une approche holistique et socio-institutionnelle pour promouvoir une économie circulaire avancée. En conclusion, le réemploi joue un rôle essentiel dans la transition vers une société plus durable, offrant des solutions concrètes pour répondre aux défis actuels tout en guidant les politiques et les initiatives vers une économie circulaire plus avancée.

1.3.3 Construction et Frugalité en matières – Approche et principes

L'importance accordée à l'utilisation frugale des matériaux en Europe découle d'une convergence d'approches économiques, sociales, environnementales et culturelles. Celle-ci s'attache à une conception locale dans laquelle la pierre bleue belge peut s'insérer. Il est donc nécessaire de comprendre ce nouveau concept architectural qui pourra par la suite exploiter la pierre bleue belge comme ressource locale.

Face à ces impératifs contemporains, plusieurs études ont été menées, notamment sous la direction éclairée de l'architecte et urbaniste Philippe Madec, dont son ouvrage de 2021, « Mieux avec moins, architecture et frugalité pour la paix »⁵¹, prône une approche minimaliste. L'auteur met particulièrement l'accent sur l'impératif d'une utilisation raisonnée des ressources, qu'elles soient biosourcées (paille, bambou, bois)

⁵¹ Madec, P., (2021). « Mieux avec moins, architecture et frugalité pour la paix ». Terre Urbaine. France. 200 pages. ISBN 2491546108

ou géosourcées (terre crue, pierre). Cette orientation vise à valoriser les compétences locales dans la conception des projets architecturaux, s'inscrivant ainsi dans une stratégie visant à atténuer l'impact environnemental. L'auteur va au-delà en intégrant cette conception dans une utilité d'usage. Il développe l'idée de l'importance d'établir un usage judicieux pour chaque matériau. En effet, il souligne que le choix d'utilisation d'un matériau revêt une importance capitale pour garantir son efficacité. Dans cette perspective, l'architecte démontre comment l'architecture frugale, caractérisée par sa sobriété et sa simplicité, peut non seulement répondre aux impératifs écologiques, mais également améliorer les conditions de vie des populations. En intégrant de manière harmonieuse ces deux aspects, Madec s'inscrit dans une vision où la frugalité devient un moteur essentiel pour concilier le développement humain et la préservation de l'environnement. Ainsi, l'architecture frugale se positionne comme une voie prometteuse vers une symbiose entre les besoins humains, la créativité architecturale et les contraintes écologiques contemporaines.

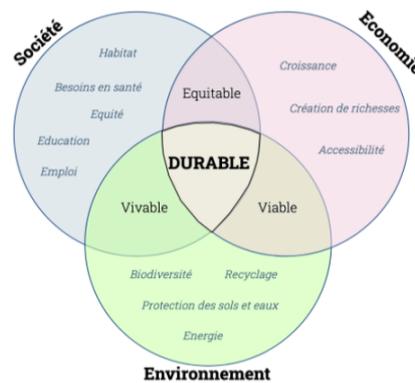


Figure 7 : « le triptyque du développement durable ». Source : Bourjac, M., Gouffaud, K., et al. (2021). « Bonnes pratiques pour une conception frugale ». Alliance Sorbonne Université, Université de Technologie Compiègne. 22 pages. En ligne : <https://doi.org/10.34746/aemm-ad45> (Consulté le 20 juillet 2024).

La frugalité, en tant que concept, se positionne comme un combat collectif en faveur d'une gestion des ressources soucieuse de durabilité. Navi Radjou, économiste franco-indien, s'est attelé à une étude approfondie de cette approche novatrice, qu'il a définie comme étant intrinsèquement liée à l'innovation. L'ouvrage intitulé « L'innovation Jugaad : redevenons ingénieurs »⁵², traduit par Jean-Joseph Boillot, propose une exploration en six chapitres, chacun abordant un principe distinct pour faciliter la compréhension et encourager l'adoption d'une perspective axée sur la frugalité. Ces principes se résument ainsi : d'abord, la capacité à « rechercher des opportunités dans l'adversité », suivie de la volonté de « faire plus avec moins ». L'accent est également mis sur « la pensée et l'action flexible », ainsi que sur « l'aspiration à la simplicité ». Radjou souligne par ailleurs l'importance « d'intégrer les marges et les exclus » dans cette démarche frugale, et conclut avec l'impératif de « suivre son cœur ». L'auteur, par le biais de ses connaissances, cherche à consolider la frugalité en lui conférant une portée à la fois définitionnelle et pratique. En parallèle,

⁵² Ahuja, S., Prabhu, J., Radjou, N., (2013). « L'innovation Jugaad : Redevenons ingénieurs ». Diateino. Paris. 384 pages. ISBN 2354560966

Radjou met en évidence les enjeux politiques, économiques et sociaux, soulignant que ces problématiques découlent principalement des comportements des nations riches, qui abusent de leur puissance économique tout en épuisant les ressources à leur disposition. Cette constatation l'amène à s'interroger sur la méthodologie adoptée par les grands groupes de pays développés. L'idée serait de créer des produits offrant une valeur accrue aux parties prenantes tout en minimisant la consommation de ressources. Ainsi, il s'agit de trouver un équilibre entre l'amélioration constante des produits et services ("faire mieux") et la réduction de la consommation de ressources ("...avec moins")⁵³.

Le concept de frugalité peut également se lier au rôle que porte la maintenance dans la société contemporaine, exploré dans le livre « Penser avec la maintenance »⁵⁴ de Jérôme Denis et David Pontille. En examinant comment la maintenance contribue à prolonger la durée de vie des objets et des infrastructures, les auteurs soulignent l'importance de préserver les ressources existantes et de promouvoir une utilisation responsable des biens matériels. Cette approche correspond étroitement aux principes de la frugalité, qui prône la modération et la gestion prudente des ressources. Ainsi, le livre offre une réflexion précieuse sur la manière dont la société peut repenser sa relation avec les objets et leur entretien, en mettant en avant des valeurs telles que la durabilité, l'attention et le respect des ressources.

Marie-Christine Zélem et Christophe Beslay, à travers leur ouvrage intitulé « Sociologie de l'énergie »⁵⁵, publié en 2015, entreprennent une analyse approfondie visant à démontrer que la frugalité s'inscrit pleinement dans le domaine de la sociologie et de la richesse culturelle. Les auteurs relèvent le défi de décrypter les besoins réels de la société afin d'éviter la prolifération des excès dans la consommation, orientant ainsi l'économie vers une dynamique de préservation. Par ailleurs, leur étude se penche sur la manière dont cette énergie est non seulement utilisée par la société, mais aussi sur la gestion qui en est faite par les instances gouvernantes. Il convient de souligner que la production et l'implémentation d'un matériau entraînent une consommation d'énergie déterminée par sa nature intrinsèque. Ainsi, les sociologues dirigent les lecteurs vers la pertinence d'opter pour des matériaux à la fois locaux et éco-performants, répondant ainsi aux impératifs d'une socio-technologie et, par extension, contribuant au confort, un paramètre fondamental dans le domaine de la construction. L'approche de Zélem et Beslay permet ainsi de mettre en lumière les liens complexes entre la société, l'utilisation de l'énergie, et la gestion des ressources, éclairant la voie vers des pratiques plus durables et en harmonie avec les impératifs sociétaux actuels. En intégrant ces réflexions sociologiques, leur ouvrage apporte une contribution significative à la compréhension des mécanismes sous-jacents à la transition vers une économie axée sur la préservation et la modération des ressources énergétiques. Pour informer plus concrètement sur la conception frugale dans l'aménagement et l'architecture, le groupe EnvirobatBDM et tout particulièrement Dominique Gauzin-

⁵³ Micaëlli, J.P., (2016). « Comprendre l'innovation frugale : le diptyque proposé par Navi Radjou et ses co-auteurs ». *Innovations*. Vol 51, N°3. 10 pages (pp 95-104). En ligne : <https://doi.org/10.3917/inno.051.0095> (Consulté le 18 mars 2024).

⁵⁴ Denis, J., Pontille, D., (2022). « Le soin des choses ». *La Découverte*. Paris. 415 pages. ISBN 9782348064838

⁵⁵ Beslay, C., Zélem, M.C., (2015). « Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques ». *Cnrs. France*. 476 pages. ISBN 2271085152

Müller, architecte spécialisée dans l'architecture écologique, ont développé un document « Construire Frugal en Provence-Alpes-Côte d'Azur »⁵⁶ en 2009. L'auteur souligne l'impératif de la construction durable dans la transition écologique, en intégrant l'empreinte environnementale, l'économie du projet, et les aspects humains. Le texte vise à guider les équipes de maîtrise d'ouvrage et de maîtrise d'œuvre vers des bâtiments frugaux, favorisant un impact léger sur la planète et positif pour les usagers et le territoire. Au-delà des réglementations thermiques, la construction durable intègre des dimensions telles que l'hygrothermique, l'olfactif, le visuel, le sonore, et prend en compte les impacts environnementaux sur le site, la biodiversité, les ressources en eau, et l'écosystème. Cette approche holistique se déploie à travers sept thématiques : territoire et site, matériaux, énergie, eau, confort et santé, social et économie, gestion de projet. La démarche Bâtiments durables méditerranéens (BDM), alignée sur le Mouvement pour une frugalité heureuse et créative, promeut la sobriété des usages, des besoins en énergie, et de la construction. La construction frugale, contextualisée et résultant d'une démarche globale où l'occupant joue un rôle clé, nécessite une volonté affirmée de la maîtrise d'ouvrage et une recherche concertée de solutions sobres impliquant tous les acteurs du projet. Le texte se conclut en présentant 15 bâtiments frugaux inspirants, encourageant ainsi l'engagement dans cette voie et la détermination nécessaire pour concrétiser des projets sobres et créatifs.

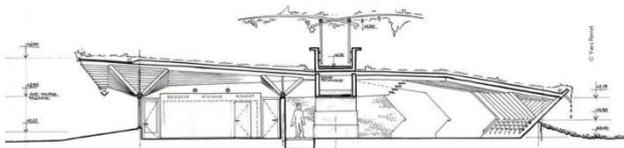


Figure 8



Figure 10



Figure 9



Figure 11

Figure 8 et 9 « Représentations graphiques et iconographiques du projet : Centre pédagogique Le Naturoptère, Sérignan-du-Comtat, Vaucluse »
 Figure 10 et 11 « Représentations graphiques et iconographiques du projet : Les Colibres, écohabitat autopromotion, Forcalquier, Alpes-de-Haute-Provence »

Source : Gauzin-Müller, D., (2020). « Construire Frugal en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». EnvirobatBDM. 28 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2023/01/construire-frugal-en-provence-alpes-cote-dazur.pdf> (Consulté le 18 mars 2024).

⁵⁶ Gauzin-Müller, D., (2020). « Construire Frugal en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». EnvirobatBDM. 28 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2023/01/construire-frugal-en-provence-alpes-cote-dazur.pdf> (Consulté le 18 mars 2024).

Plusieurs de ces chercheurs et architectes ont même formé des associations pour permettre d'appliquer et de développer cette nouvelle approche. En effet, Dominique Gauzin-Müller, Philippe Madec et Alain Bornarel ont mis en évidence ces principes et l'intérêt de l'architecture frugale en créant ensemble un groupe de recherche européen intitulé « Frugalité heureuse et créative »⁵⁷. L'objectif est d'appliquer ce que peut apporter une architecture frugale, mentionnée dans les études précédentes, afin de permettre une durabilité et une efficacité à partir du local dans le domaine architectural.

Dans l'ensemble, ces diverses études soulignent l'importance de la frugalité comme réponse aux défis contemporains en matière de durabilité, d'efficacité et de préservation des ressources. En mettant l'accent sur une utilisation modérée et réfléchie des matériaux, des énergies et des technologies, la frugalité émerge comme une philosophie afin d'améliorer l'avenir. Ces études démontrent que la frugalité n'est pas seulement une approche pratique, mais aussi une démarche politique et sociale. De plus, la frugalité joue un rôle crucial dans la contribution à une économie circulaire, surtout face à l'exploitation des différentes ressources naturelles. Ce concept met en évidence l'importance de choisir un matériau en fonction des besoins réels, soulignant ainsi son aspect fonctionnel en réponse aux besoins de la société. Simplifier pour faire plus et mieux est donc nécessaire. De plus, cette approche met en valeur les matériaux locaux et naturels en tant que richesse patrimoniale. La pierre bleue est particulièrement concernée par ce concept, offrant ainsi la possibilité de contrôler et de diversifier son utilisation grâce au réemploi.

1.3.4 Aspect logistique – Business Model (Canvas)

Le modèle d'affaires, traditionnellement axé sur la création de valeur, évolue en direction de deux objectifs majeurs : la reconfiguration globale de l'entreprise et l'innovation de la proposition de valeur. Les professionnels et les scientifiques reconnaissent son importance en tant que complément stratégique, intégrant la proposition de valeur, les revenus et les coûts. Divers modèles visuels ont été explorés, allant de l'innovation technologique aux composants clés tels que la proposition de valeur, le profit, les processus et les ressources. La communauté s'accorde sur l'interconnexion des composantes, chaque modification ayant un impact global. Des facteurs clés tels que l'offre, le marché, la capacité interne, la compétition, les facteurs économiques et la croissance sont identifiés⁵⁸.

Dans l'idée d'une intégration entrepreneuriale d'une économie circulaire par une filière de réemploi de pierre bleue, les valeurs de l'économie circulaire poussent à « *une économie dans laquelle les produits et les matières conservant leur valeur le plus longtemps possible, avec des déchets et l'utilisation des ressources qui sont réduits* ».

⁵⁷ Bornarel, A., Gauzin-Müller, D., Madec, P., (2018). « Manifeste pour une frugalité heureuse & créative ». *Frugalité heureuse & créative*. 4 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2021/11/le-Manifeste.pdf> (Consulté le 5 février 2024).

⁵⁸ Morris, M., Schindehutte, M., & Allen, J. (2005). « The entrepreneur's business model: Toward a unified perspective ». *Journal of Business Research*. Vol 58, N°6. 10 pages (pp.726–735). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.11.001> (Consulté le 28 mai 2024).

au minimum et, lorsqu'un produit arrive en fin de vie, les ressources qui le composent sont maintenues dans le cycle économique afin d'être utilisées encore et encore pour recréer de la valeur »⁵⁹.

Le facteur logistique d'une économie circulaire est donc essentiel à son bon fonctionnement. Pour développer une filière, il est important de suivre un modèle afin de structurer l'ensemble. C'est pour cela, que la Fondation McArthur a développé « Vers l'économie circulaire Vol 1 : Une justification économique et commerciale pour une transition accélérée »⁶⁰, qui a permis au mouvement de se développer. Les auteurs ont entrepris une analyse approfondie visant à mettre en lumière l'urgence d'adopter un nouveau modèle économique face aux signes croissants d'épuisement des ressources. Dans cette quête d'amélioration substantielle des performances en matière de gestion des ressources, les entreprises se lancent activement dans l'exploration de moyens visant à réutiliser les produits et à restaurer leurs entrées matérielles, énergétiques et de main-d'œuvre. Cette publication, structurée en cinq sections bien définies, poursuit plusieurs objectifs. Tout d'abord, elle évalue les risques associés à la consommation linéaire, mettant en évidence les impacts potentiels négatifs sur la croissance économique mondiale. Ensuite, elle explore les opportunités substantielles de l'économie circulaire en analysant de près son origine et en examinant comment elle génère de la valeur lors du passage du linéaire au circulaire. La publication illustre également les avantages des modèles économiques circulaires pour les entreprises à travers des études de cas détaillées, soulignant les éléments essentiels à une transition systémique réussie. En cartographiant les implications macroéconomiques de la transition vers une économie circulaire, la Fondation met en évidence les avantages potentiels pour divers acteurs du marché. Enfin, en offrant des stratégies pratiques pour intégrer l'économie circulaire dans le courant dominant, elle présente une feuille de route pour une transition accélérée, dévoilant les opportunités économiques considérables qui en découlent. Il est donc important de tenir compte de cette étude pour le futur modèle économique de réemploi de la pierre bleue belge.

A présent, il est nécessaire de pouvoir assimiler ce qu'est un Business Model et son fonctionnement.

En définition, un Business Model décrit visuellement la manière dont une entreprise parvient à créer, délivrer et capturer une prestation, définie comme valeur⁶¹. Alors que cela peut n'est parfois pas remarquable, toute personne utilise ou tente d'utiliser un modèle d'affaires pour créer une entreprise et réévaluer sa stratégie. C'est ainsi que le Business Model Canvas est préféré par les praticiens et les académiciens pour sa

⁵⁹ « Commission européenne : Fiche d'information ». (2015). Commission européenne. 8 pages. En ligne : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/fr/memo_15_6204/MEMO_15_6204_FR.pdf (Consulté le 25 juin 2024).

⁶⁰ « Towards the circular economy : economic and business rationale for an accelerated transition ». (2013). Ellen Macarthur Foundation. 98 pages. En ligne : <https://emf.thirdlight.com/file/24/xTyQj3oxiYNMO1xTFs9xT5LF3C/Towards%20the%20circular%20economy%20Vol%201%3A%20an%20economic%20and%20business%20rationale%20for%20an%20accelerated%20transition.pdf> (Consulté le 29 juin 2024).

⁶¹ Rodriguez, J., (2017). « Vendre ou Ne Pas Vendre ? Introduction aux modèles de business (et innovation) pour les organisations artistiques et culturelles ». IETM. 52 pages. En ligne : https://www.ietm.org/system/files/publications/ietm_vendre_ou_ne_pas_vendre_toolkit_2017_0.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

popularité et sa simplicité, malgré certaines lacunes telles que l'omission de certains composants⁶².

Tout d'abord, Alexander Osterwalder a élaboré une sous la direction de Yves Pigneur, explorant la création d'un outil international pour la gestion du management dans l'innovation. Ils ont initialement puisé leur inspiration dans les systèmes d'information pour comprendre comment connecter les différents "blocs" participant à cette création⁶³. Par la suite, Osterwalder a concrétisé cette thèse en créant le premier Business Model Canvas en 2007, suivi des premiers apprentissages de son utilisation l'année suivante⁶⁴. En 2010, les chercheurs ont décidé de diffuser ce modèle au moyen d'un ouvrage intitulé « *The Business Model Nouvelle Génération* »⁶⁵. Cette démarche a connu un succès notable, et aujourd'hui, ce modèle est largement adopté en Europe et en Amérique centrale et du Sud, gagnant progressivement en popularité en Afrique et en Asie⁶⁶. Après 2010, le Business Model Canvas a pris une ampleur encore plus significative en devenant la principale référence pour les modèles entrepreneuriaux. Selon les statistiques, plus de 5 millions de personnes ont téléchargé ce modèle, y compris des entreprises parmi les plus connues et prospères⁶⁷.

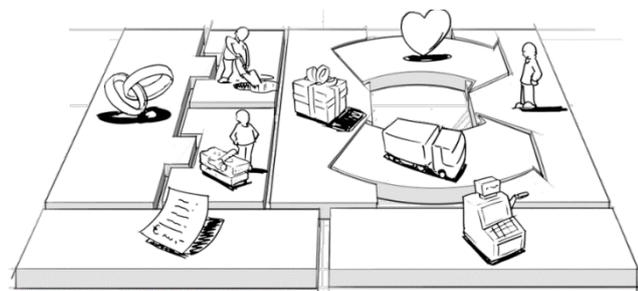
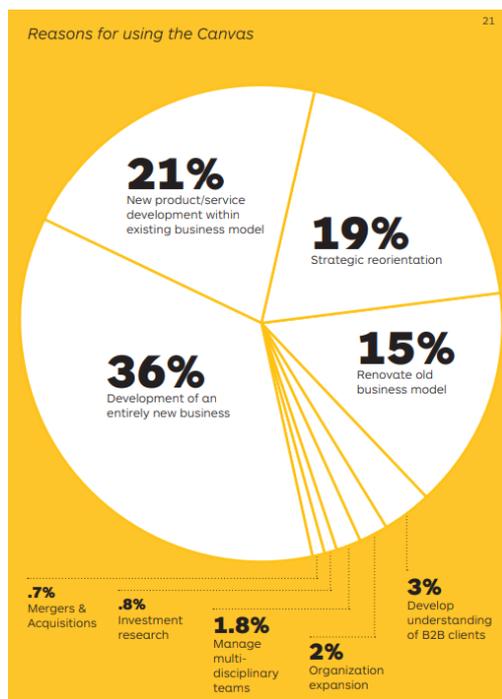


Figure 12 : « Connexion entre les facteurs d'un Business Model Canvas ». Source : De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

Figure 13 : « Reasons for using the canvas ». Source : Hanshaw, N., Osterwalder, A., (2015). « The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it. » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

⁶² Axundzada, E., (2018). « Comment adapter l'outil Business Model Canvas afin de répondre à la réalité de l'économie collaborative ? ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Jacquemin, A. 163 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:15437> (Consulté le 20 juin 2024).

⁶³ Lima, M., & Baudier, P. (2017). « Business model canvas acceptance among French entrepreneurship students: Principles for enhancing innovation artefacts in business education ». *Journal of Innovation Economics & Management*. Vol 2, N°23. 25 pages (pp. 159-183). En ligne : <https://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2017-2-page-159.htm?ref=doi> (Consulté le 23 juin 2024).

⁶⁴ Hanshaw, N., Osterwalder, A., (2015). « The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it. » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

⁶⁵ Osterwalder, A., Pigneur, Y., (2011). « Business Model Nouvelle génération : Un guide pour visionnaires, révolutionnaires et challengers ». Pearson. Paris. 288 pages. ISBN 978-2744064876

⁶⁶ Hanshaw, N., Osterwalder, A., (2015). « The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it. » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

⁶⁷ Idem

Pour en revenir au livre, les auteurs fournissent des informations et des conseils permettant de s'implanter sur le marché économique de l'entreprise avec une innovation. Le livre est structuré en cinq sections, chacune visant à offrir une compréhension approfondie de la génération de modèles économiques. La première section introduit le Business Model Canvas en tant qu'outil essentiel pour décrire, analyser et concevoir des modèles économiques. La deuxième section explore divers modèles économiques basés sur les concepts de penseurs de premier plan dans le domaine des affaires. La troisième section propose des techniques pratiques pour guider la conception de modèles d'entreprise. La quatrième section réinterprète la stratégie à travers le regard des modèles d'affaires. Enfin, la cinquième section offre un processus générique pour aider à concevoir des modèles économiques innovants, intégrant tous les concepts, techniques et outils de la génération de modèle économique. La dernière partie du livre propose une perspective sur cinq sujets de modèles économiques pour l'avenir de l'exploration. En conclusion, la postface offre un aperçu du processus créatif lié à la génération de modèles commerciaux⁶⁸.

Comme le soulignent Fabienne Bornard et Chrystelle Gaujard dans leur article intitulé « *Imaginer des scénarios pour donner du sens à sa vision du futur* »⁶⁹, il est essentiel de comprendre que le projet évolue, de même que chaque facteur. Cela implique la nécessité d'apprendre, grâce à ce modèle, à percevoir le projet et les éléments qui peuvent y intervenir, tout en garantissant un avenir par l'aptitude à analyser et visualiser. En effet, dans le contexte d'une startup, le Business Model Canvas sert de guide à la réalisation d'une entreprise de manière continue. Il permet une structuration judicieuse des différents éléments en les regroupant dans des cases interconnectées. Cette approche facilite la répartition des idées, évitant ainsi d'avoir à tout conceptualiser sans disposer d'une représentation visuelle. De plus, elle permet de prendre conscience des évolutions constantes du projet, soulignant que chaque élément n'est pas figé.

« *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation* »⁷⁰ est un livre écrit par Tim Brown, le PDG de la célèbre firme de design IDEO. Dans ce livre, Brown explore le concept du "design thinking" et son application pour transformer les organisations et encourager l'innovation. Le "design thinking" est une approche centrée sur l'humain qui met l'accent sur la compréhension des besoins des utilisateurs, la génération d'idées créatives et l'itération rapide des prototypes pour résoudre les problèmes complexes. C'est ainsi qu'il catégorise le Business Model afin de permettre une facilité à sa structure.

On retrouve en tout huit cases réparties autour de la proposition de valeur et selon trois catégories. La première catégorie, située au-dessus à droite du tableau, est la "désirabilité". Il s'agit de comprendre qui sont les clients, les nouveaux clients, et de comprendre quels sont leurs besoins. Cette partie est centrée sur la clientèle et, par

⁶⁸ Osterwalder, A., Pigneur, Y., (2011). « *Business Model Nouvelle génération : Un guide pour visionnaires, révolutionnaires et challengers* ». Pearson. Paris. 288 pages. ISBN 978-2744064876

⁶⁹ Bornard, F., Gaujard, C., (2016). « *Imaginer des scénarios pour donner du sens à sa vision du futur* ». *Entreprendre & Innover*. Vol 3, N°30. 10 pages. En ligne : <https://www.cairn.info/revue-entreprendre-et-innover-2016-3-page-7.htm> (Consulté le 25 juin 2024).

⁷⁰ Brown, T. (2008). « *Change by Design : How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation* » HarperBusiness. New York. 272 pages. ISBN 978-0061766084

conséquent, sur la relation qui lie l'entrepreneur au client, ainsi que sur leurs moyens de communication. Ensuite, on retrouve la partie "faisabilité", généralement décrite comme la plus facile à décrire. Il s'agit premièrement de définir les ressources clés, matérielles ou non, qui seront essentielles à l'exécution de ce modèle. Dans cette même partie, il faut également pouvoir décrire précisément les différentes étapes constituant la filière entrepreneuriale. Enfin, liée aux deux premières, il est important de décrire quels sont les intervenants internes et externes de l'entreprise. Cela correspond à la répartition des charges de travail selon différents corps de métiers. Une anticipation adéquate est cruciale pour éviter des problèmes de coordination à un moment donné. La dernière partie est principalement économique et se concentre sur la "viabilité". Séparée en deux, cette catégorie met d'une part en avant l'argent dépensé pour l'entreprise, que ce soit le paiement des intervenants, le paiement des ressources utilisées ainsi que les activités qui y sont liées, que ce soit pendant la fabrication et pendant la livraison. Enfin, l'argent récupéré est également à préciser afin de le comparer à celui dépensé. Cela permettra de déterminer si économiquement l'entreprise génère des bénéfices ou des pertes.⁷¹

Business Model Canvas		Conçu pour:	Conçu par:	Date :	Versión:
		Startup, Entreprise, ...	Nom1, Nom2, ...	JJ/MM/AAAA	X.Y
Partenaires clés Qui sont nos partenaires clés? Qui sont nos principaux fournisseurs? Quelles ressources clés obtenons-nous de nos partenaires? Quelles activités clés les partenaires réalisent-ils? MOTIVATIONS POUR DES PARTENARIATS: Optimisation et économie, Réduction du risque et de l'incertitude, Acquisition de ressources et d'activités particulières	Activités Clés Quelles sont les activités clés requises par nos propositions de valeur? Nos canaux de distribution? Relation client? Flux de revenus? CATÉGORIES: Production, Résolution de problèmes, Plateforme / Réseau Ressources clés Quelles sont les ressources clés requises par nos propositions de valeur? Nos canaux de distribution? Relations clients? Flux de revenus? TYPES DE RESSOURCES: physiques, intellectuelles (brevets de marque, droits d'auteur, données), humaines, financières	Propositions de valeur Quelle valeur offrons-nous au client? Quels problèmes de clients aidons-nous à résoudre? Quels ensembles de produits et services offrons-nous à chaque segment de clientèle? Quels sont les besoins des clients que nous satisfaisons? CARACTÉRISTIQUES: nouveauté, performances, personnalisation, "Réussir le travail", design, marque / statut, prix, réduction des coûts, réduction des risques, accessibilité, commodité / facilité d'utilisation	Relation Client Quel type de relation chacun de nos segments de clientèle s'attend-il à ce que nous établissons et maintenions avec eux? Lesquels avons-nous établis? Comment sont-ils intégrés au reste de notre modèle d'entreprise? Combien coûtent-ils? Canaux Quels sont les canaux préférés par nos clients? Comment pouvons-nous les atteindre maintenant? Nos canaux, comment sont-ils intégrés? Lesquels fonctionnent le mieux? Quels sont les plus rentables? Comment pouvons-nous les intégrer dans les routines client?	Clients Pour qui créons-nous de la valeur? Qui sont nos clients les plus importants? Notre clientèle est-elle un marché de masse, un marché de niche, une plateforme segmentée, diversifiée et à plusieurs côtés	
Coûts Quels sont les coûts les plus importants inhérents à notre modèle d'entreprise? Quelles ressources clés sont les plus chères? Quelles activités clés sont les plus chères? VOTRE ENTREPRISE C'EST PLUS: axé sur les coûts (structure de coûts allégée, proposition de valeur aux plus bas prix, automatisation maximale, externalisation poussée), axé sur la valeur (axé sur la création de valeur, proposition de valeur supérieure). EXEMPLE CARACTÉRISTIQUES: coûts fixes (salaires, loyers, services publics), coûts variables, économies d'échelle, économies d'envergure		Revenus Nos clients, pour quelle valeur sont-ils vraiment disposés à payer? Pour quelle valeur paient-ils actuellement? Comment paient-ils actuellement? Comment préféreraient-ils payer? Quelle est la contribution de chaque source de revenus aux revenus globaux? TYPES: Vente d'actifs, Frais d'utilisation, Frais d'abonnement, Prêt / Location, Crédit-bail, Frais de courtage, Publicité PRIX FIXE: Prix catalogue, Dépend de la fonctionnalité du produit, Dépendant du segment de clientèle, Dépend du volume PRIX DYNAMIQUE: Négociation (négociation), gestion du rendement, marché en temps réel			

Figure 14 : « Outil de travail : Le Business Model Canvas ». Source : De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

Bien que le réemploi puisse représenter une solution, il est essentiel de comprendre que ce processus, ainsi que les principes des 9R, sont fondamentaux pour assurer la durabilité. Cependant, ce processus doit être confronté à des défis logistiques. L'intégration d'un modèle économique adapté guidera vers un nouveau marketing accessible et fiable. Cela permettra également d'évaluer la viabilité d'une nouvelle approche circulaire en la conciliant avec le modèle économique actuel de la pierre bleue.

⁷¹ Idem

1.4 Méthodologie

L'objectif de ce travail de fin d'études est de promouvoir l'utilisation durable et circulaire de la pierre bleue belge à travers un nouveau modèle économique tout en préservant sa valeur patrimoniale locale et sa valeur ajoutée en tant que matériau de construction.

La méthode proposée pour atteindre cet objectif s'établira en quatre étapes.

La première étape vise à proposer une analyse générale de la pierre bleue, d'une part, en retraçant l'histoire et l'évolution de ce matériau et des carrières, en détaillant ses propriétés techniques et physiques et d'une autre part, en faisant un inventaire de ses applications ou usages en construction. Ces explications permettront de comprendre les facteurs ayant influencé son utilisation et de justifier les défis liés à sa transition contemporaine.

La seconde étape a pour ambition de situer la pierre bleue belge aujourd'hui. Bien que la pierre bleue soit moins utilisée dans la construction aujourd'hui, elle perdure par l'exploitation des carrières de la région. Il est donc primordial d'analyser l'état d'usage de la pierre bleue belge à travers différentes échelles. Pour se faire, une analyse se concentrera sur la région liégeoise afin d'évaluer quantitativement les gisements de pierre bleue belge dans les anciennes rues de Liège, au sein des différents bâtiments. Ainsi, différents ouvrages et études pourront aider à comprendre l'importance de la pierre bleue dans la construction liégeoise et à sélectionner les rues pertinentes pour étudier son utilisation dans ces constructions. Un cas d'étude mobilisant un grand nombre de pierre bleue sera également analysé. L'article « *Chapitre 4 : Analyse du bâti* »⁷² rédigé par l'SPW pourrait servir d'exemple pertinent pour étayer cette partie d'analyse en plus des différentes archives trouvées sur la composition liégeoise des bâtis. L'ensemble de ces informations et ces données récoltées permettra d'extrapoler l'importance de cette pierre sur le territoire wallon aujourd'hui et donc de définir les enjeux et les besoins en termes d'urbanisation actuelle de la ville de Liège, et à l'échelle nationale belge. Ensuite, l'objectif est d'obtenir des données quantitatives du gisement de cette pierre naturelle au sein d'une ou plusieurs carrières afin de générer des statistiques qui vont permettre de définir son utilisation aujourd'hui. Cette analyse pourra s'appuyer sur l'expertise de Benoit Misonne, qui a déjà effectué la première analyse du cycle de vie de ce matériau⁷³.

La troisième étape consistera à entreprendre une compréhension logistique pour la mise en place d'une filière de circularité au sein des carrières. Ainsi, il sera nécessaire de présenter des explications sur les enjeux touchant le réemploi des matériaux de constructions et de leur circularité. En complément des données obtenues par l'analyse du gisement actuel des carrières, il est essentiel de comprendre le

⁷² « Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovationenergetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024)

⁷³ Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

fonctionnement entrepreneurial de celles-ci. Ainsi, une explication du Business Model sur base de différents exemples appliquant un modèle de circularité permettra de saisir la structure entrepreneuriale d'une entreprise.

Ensuite, il y aura une analyse de la conception du Business Model actuel de l'entreprise *des Carrières de la Pierre Bleue Belge* à l'aide d'un outil de gestion tel que le Business Model Canvas, développé par Alexander Osterwalder⁷⁴.

Enfin, la dernière étape vise à envisager la création d'un nouveau chaînage logistique de réemploi, impliquant la collecte, le transport jusqu'aux sites d'extraction/production, la réparation et la remanufacturation des pierres, afin valoriser le matériau local en ayant confiance aux vendeurs et de prendre en compte divers facteurs environnementaux, économiques, sociaux et culturels qu'un chaînage engendre. Plusieurs études seront référencées pour mettre en évidence les besoins en informations et garantir une réintégration adéquate de la pierre bleue belge par le réemploi. Le nouveau Business Model de réemploi sera alors appliqué en se basant sur le modèle existant et sur les informations liées au réemploi et au concept des 9R. Il sera possible d'échanger ces informations avec le Business Model actuel afin de vérifier la faisabilité d'un tel réseau et d'assurer la complémentarité des deux approches. Diverses perspectives seront envisagées pour anticiper le futur et le développement de ce nouveau modèle économique.

L'objectif est de s'appropriier le matériau et d'analyser le potentiel de nouveaux schémas logistiques pour générer une valeur durable pour la pierre bleue belge, tout en tenant compte des exigences des filières actuelles et du réemploi. Cela nécessite la conception d'un nouveau business model visant à résoudre les différentes problématiques nécessaires à la durabilité recherchée.

⁷⁴ Hanshaw, N., Osterwalder, A., (2015). « *The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it.* » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

Contexte

Facteurs à considérer concernant la pierre bleue belge

- Concurrence économique étrangère (Asie) car les prix sont plus abordables
 - Aujourd'hui, le titre de multifonctionnalité de la pierre bleue belge est érogné à cause des exigences des normes PEB
 - Recherche d'innovation (époque contemporaine). Application d'autres matérialités, devenues plus populaires telles que le béton et l'acier
 - Recherche aujourd'hui d'une revalorisation des matériaux locaux et peu énergivores permettant le réemploi et l'économie circulaire.

- Economie
- Social
- Culturel
- Environnement



Question de recherche

"Réemploi de la pierre bleue belge, comment concilier patrimoine et circularité des matières par l'activation de nouvelles activités logistiques"

Objetif

Développer un nouveau business model circulaire suite à l'étude du business model linéaire actuelle des *Carrières de la Pierre Bleue Belge*, afin de permettre la revalorisation de ce matériau par le réemploi en exploitant ses propriétés avantageuses.

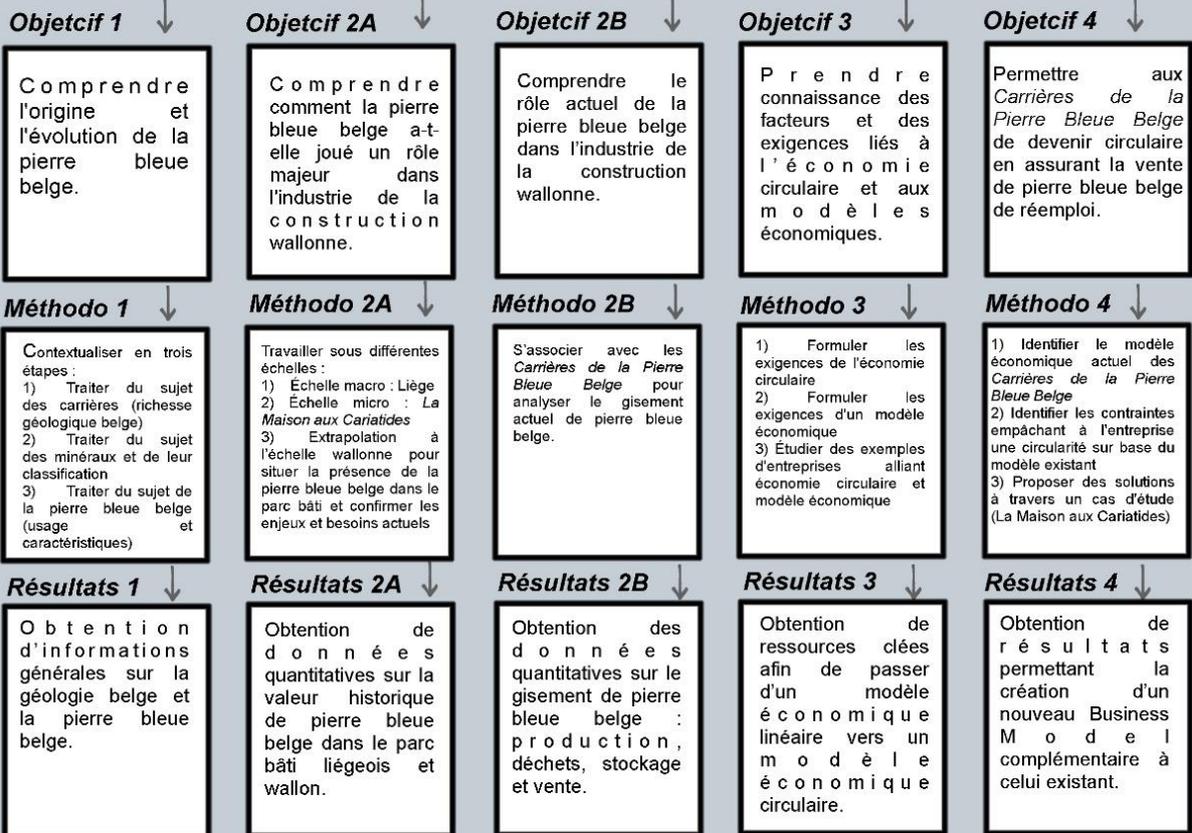


Figure 15 : « Processus méthodologique du TFE ». Source : Natan Burton

2 CHAPITRE 01. LA PIERRE BLEUE BELGE – HISTOIRE, EVOLUTION, PROPRIETES ET UTILISATION

2.1 Histoire et évolution des carrières en Wallonie

Les carrières wallonnes, avec leur riche géologie, ont depuis longtemps suscité un intérêt soutenu pour leur exploitation⁷⁵.

La Belgique a été parmi les premiers pays à être géologiquement exploré, produisant des cartes, dont une cartographie numérique complète des sols dans le cadre du Projet de Cartographie Numérique des Sols et de Wallonie (PCNSW)⁷⁶, entre 2001 et 2004. Cet effort a légitimé les activités d'exploitation précédentes, notamment celles initiées par J.J. d'Omalius d'Halloy, le « père de la géologie belge »⁷⁷. Outre les cartes, des écrits détaillés ont également été produits sur les propriétés des minéraux belges tel que « *Les ressources du sol belge en matières utiles* »⁷⁸ par le Conseil géologique en 1990.

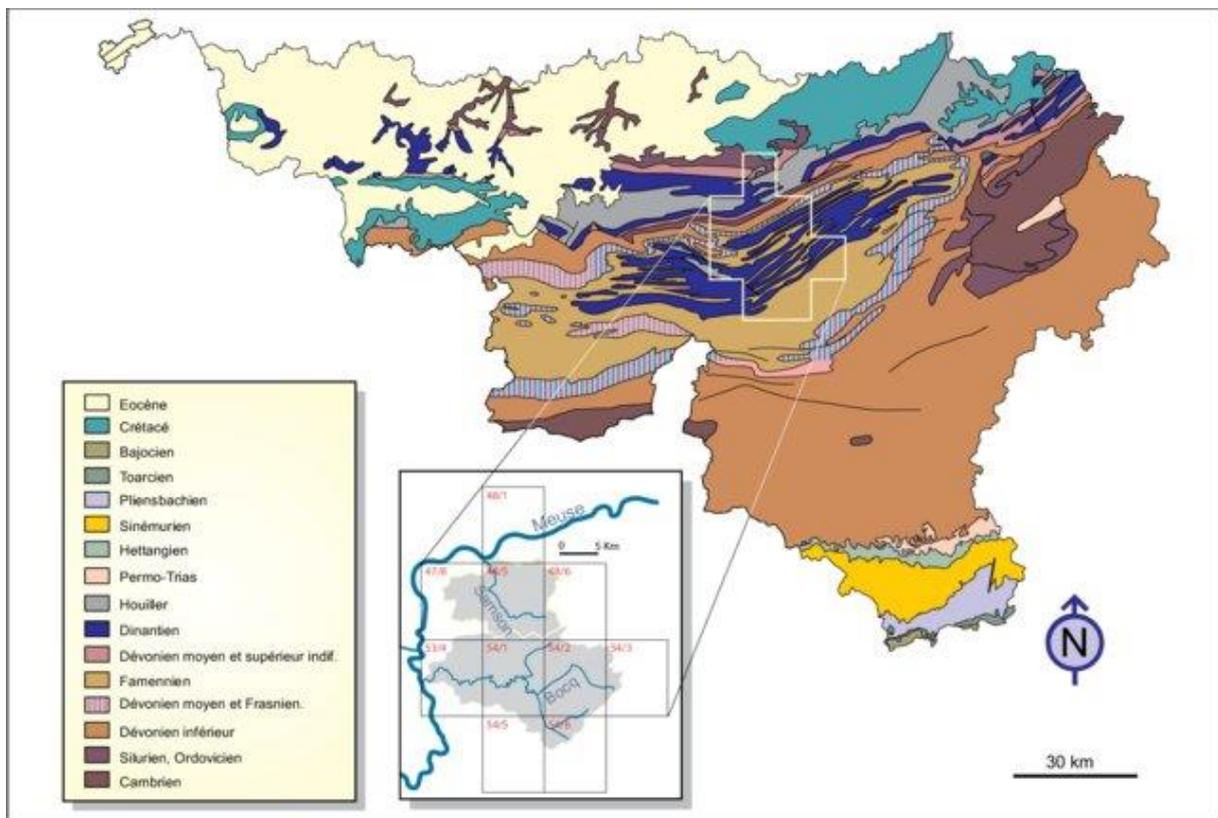


Figure 16 : « Carte géologique simplifiée et colonne stratigraphique de la Wallonie ». Source : Dejonghe, L., (2011). « La géologie des bassins du Bocq et du Samson ». CWEPSS. 9 pages. En ligne : <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/154170/1/2011-GeologieBocqSamson.pdf> (Consulté le 21 juillet 2024).

⁷⁵ Pacyna, D., (2006). « Collecte, diffusion et utilisation de l'information relative à la géologie en Région wallonne : la carte géologique et ses thématiques ». Géologie de la France. N°1-2. 4 pages (pp. 115-118). En ligne : <http://geolfrance.brgm.fr/sites/default/files/upload/documents/gf18-1-2006.pdf> (Consulté le 10 mai 2024).

⁷⁶ Engels, P., Legrain, X., (2007). « Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000 ». Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Laboratoire de Géopédologie. Version 2. 75 pages. En ligne : https://www.fichierecologique.be/ressources/LCNSW_V2.pdf (Consulté le 3 juin 2024).

⁷⁷ Groessens, E., (2005). « De d'Omalius d'Halloy à la régionalisation de la Belgique. Deux cents ans de cartographie géologique ». Université Catholique de Louvain (UCL), Service géologique de Belgique (IRScNB). 11 pages. En ligne : <https://shs.hal.science/halshs-00005663v2> (Consulté le 14 juin 2024).

⁷⁸ « Les ressources du sol belge en matières utiles. Annexe à la légende générale de la carte géologique détaillée de la Belgique ». (1929). Annales des Mines de Belgique. T.XXX. 25 pages (pp. 39-79). En ligne : <https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/annales-des-mines-de-belgiques/1929%20ADM/annales-des-mines-livraison-3-part-1.pdf> (Consulté le 20 mars 2024).

Les carrières, bien qu'éphémères, sont un élément permanent du paysage, comme l'illustre l'assertion de Roger Brunet en 1995 : « *le paysage est ce qui se voit* »⁷⁹. Souvent altéré par l'activité humaine pour exploiter les ressources, cela souligne un principe anthropocentrique, qui sous-tend la tendance à considérer la nature comme un bien à s'approprier sans égard pour son intégrité⁸⁰. Il est nécessaire de développer une réflexion critique sur l'exploitation des carrières et d'éviter les répercussions environnementales dues à l'activité humaine. Aujourd'hui, les carrières wallonnes cherchent à opérer dans le respect de l'environnement⁸¹. De plus, l'activité extractive joue un rôle vital économique en approvisionnant 85% des secteurs industriels en Belgique⁸².

L'ouverture de carrières en Belgique, notamment en Wallonie, a débuté dès le IV^e siècle avant notre ère pour l'extraction de matériaux tels que la craie et le silex, utilisés pour la fabrication d'outils⁸³. Sous la domination romaine, l'extraction s'est étendue à des matériaux plus nobles comme le marbre et la pierre bleue, largement utilisés pour l'architecture. Au Moyen Âge, ces matériaux étaient essentiels pour la construction locale et paysagère⁸⁴. Avec l'avènement de l'industrie métallurgique aux XVIII^e et XIX^e siècles, l'extraction minérale s'est généralisée, créant une demande croissante pour les minéraux en vue d'une transformation en métaux⁸⁵. La diversité des minéraux a stimulé leur exploitation dans la construction, renforçant l'économie locale et augmentant le nombre d'ouvriers. Cette tendance a conduit à une expansion significative du nombre de carrières, en réponse à la demande croissante de minéraux pour divers usages. Malgré une réduction postérieure dans l'ouverture de nouvelles carrières après la Seconde Guerre mondiale⁸⁶, la Belgique reste un acteur majeur de l'exploitation, possédant entre 150 et 180 carrières aujourd'hui, ce qui témoigne de son importance dans le secteur de l'extraction minérale⁸⁷. En 2002, près de 180 carrières

⁷⁹ Droeven, E., Dubois, C., Feltz, C., (2007) « *Paysages patrimoniaux en Wallonie (Belgique), analyse par approche des paysages témoins* ». Cahier d'économie et sociologie rurales. N°84-85. 29 pages (pp. 216-243). En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/41219/1/2007_CESR_84-85_216-243_Droeven-et-al_PaysageTemoins.pdf (Consulté le 7 mai 2024).

⁸⁰ « *Les carrières en Wallonie : un monde à redécouvrir* ». (2010). SPW, Direction générale opérationnelle de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement. 133 pages. En ligne : <http://environnement.wallonie.be/publi/dppgss/carrieres.pdf> (Consulté le 9 mai 2024).

⁸¹ Petel, M., (2018). « *La nature : d'un objet d'appropriation à un sujet de droit. Réflexions pour un nouveau modèle de société* ». Revue interdisciplinaire d'études juridiques. Vol 80. 269 pages (pp. 207-239). En ligne : <https://doi.org/10.3917/riej.080.0207> (Consulté le 9 mai 2024)

⁸² « *L'industrie extractive et transformatrice de Belgique. Un maillon essentiel au bon fonctionnement de l'activité économique de notre pays* ». (2014). Fediex. 2 pages. En ligne : <https://www.fediex.be/upload/brochure-lindustrie-extractive-et-transformatrice-belgique-un-maillon-essentiel-au-bon-fonctionnement-lactivite-economique-notre-pays-fediex-9ybu7f.pdf> (Consulté le 11 mai 2024).

⁸³ Marchi, C., Tourneur, F., (2002). « *Vies de pierres – La pierre ornementale en Belgique – Etat de la question* ». Pierres Et Marbres De Wallonie. Belgique. 212 pages. ISBN 2960029402

⁸⁴ Gulinck, M., (1958). « *Atlas de Belgique. Carrières* ». Académie royale de Belgique. Comité National de Géographie. Planche 39. 27 pages. En ligne : https://www.atlas-belgique.be/atlas_papier/atlas1e/Atlas1-FR-39.PDF (Consulté le 11 mai 2024).

⁸⁵ Honorato Cavadas, N., (2004). « *Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts* ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

⁸⁶ Idem

⁸⁷ GOSSELIN, G., (2007). « *Chapitre 5 : l'exploitation des ressources minérales du sol* ». Etat de l'environnement wallon. 7 pages. En ligne : http://etat.envi.wallonie.be/files/live/sites/eeew/files/Publications/Rapport%20analytique%202006-2007/Chap05/2_ExploitationMineralesSousSol/RES_MIN_01.pdf (Consulté le 20 février 2024).

étaient en activité, plaçant le pays parmi les leaders mondiaux dans ce domaine⁸⁸. En 2006, une carte a été établie avec la répartition de ces carrières. Parmi ces 150 à 180 carrières, on peut en retrouver environ 50 exploitations de roches ornementales, selon Benoit Misonne⁸⁹.

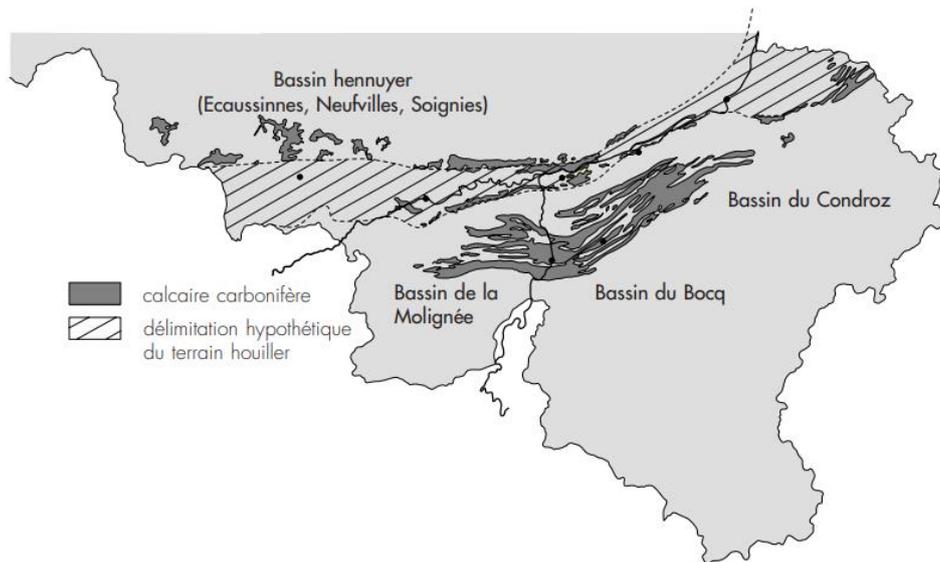


Figure 17 : « Répartition du calcaire carbonifère en Wallonie ». Source : Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

Comme susmentionné, depuis 2006, les sites sont moindres par rapport à autrefois mais l'efficacité est d'autant plus présente grâce à l'avancée technologique. De plus, de nouvelles carrières ouvrent toujours pour subvenir aux besoins des diverses entreprises dans une durabilité et les anciennes carrières sont affectées à de nouvelles fonctions.

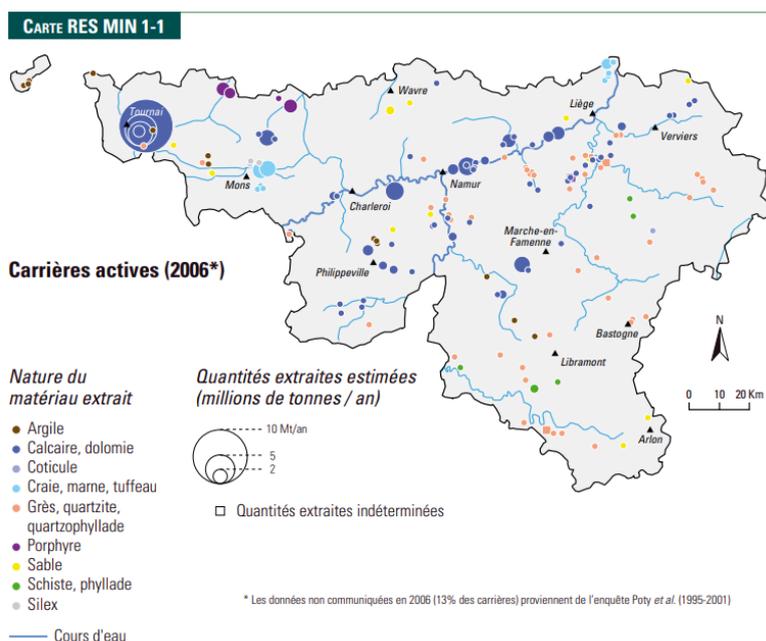


Figure 18 : « Carte de la répartition des carrières extractives en 2006 ». Source : Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages

⁸⁸ Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages.

⁸⁹ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

Figure 19 Estimation des quantités de roches extraites du sous-sol en Région wallonne, selon la nature des matériaux

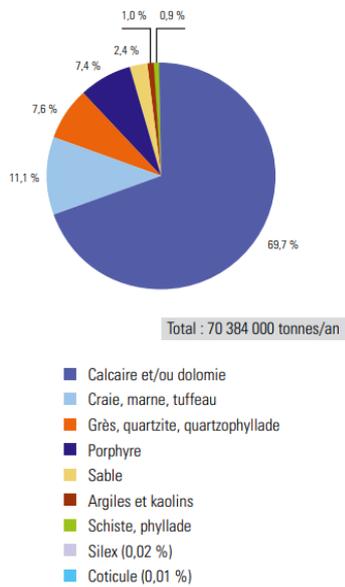


Figure 20 Usage des matériaux extraits du sous-sol en Région wallonne

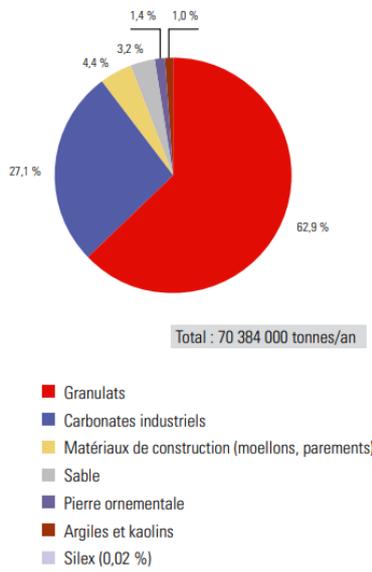


Figure 21 Affectations des carrières inactives inventoriées entre 1995 et 2001 en Région wallonne

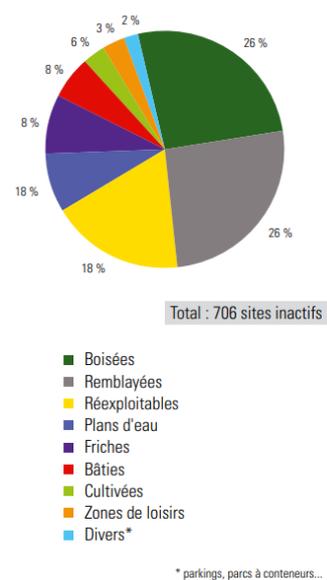


Figure 19, 20 et 21 : « Graphiques relatifs à l'exploitation des carrières en 2006 ». Source : Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages

Malgré une diminution de sa mise en valeur contemporaine, on peut remarquer un intérêt à étudier l'histoire de la géologie belge. Des chercheurs ont étudié l'histoire et l'exploitation des carrières en Belgique. Notamment, Eric Groessens, ancien géologue au Service géologique de Belgique, par son étude : « *L'industrie des carrières et de roches ornementales en Belgique* »⁹⁰. En outre, des travaux récents comme « *L'activité extractive en Wallonie* »⁹¹ par Edouard Poty et Emmanuel Chevalier soulignent l'importance de préserver les carrières, et notamment de pierre bleue, pour leur valeur géologique et historique. En effet, les chercheurs ont fait un registre du nombre de carrières actuels et visent à faire perdurer ces richesses. Ces études démontrent que, malgré son déclin dans certains domaines, les pierres et leurs carrières demeurent un sujet d'intérêt pour comprendre l'histoire, la culture et la géologie régionales.

Pour ce travail de fin d'études, les *Carrières* de la Pierre Bleue Belge servira de référence, incluant trois des plus importantes carrières de l'industrie wallonne : celles de Soignie, de Neufvilles, et de Telliers. Ces trois carrières, localisées dans la province du Hainaut, constituent le principal lieu d'extraction de grandes quantités de pierres bleues en Belgique.

La carrière de Soignie, également connue sous le nom de carrière Wincqz, fut la première grande carrière ouverte par la famille Wincqz en 1668, suite à leur installation

⁹⁰ Groessens, E., (1992). « *L'industrie des carrières et de roches ornementales en Belgique* ». Mines et Carrières. N° 74, 5 pages (pp. 91-95).

⁹¹ Chevalier, P., Poty, E., (2004). « *L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives* ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages.

à Soignies. En 1935, la carrière décida de fusionner avec la carrière Gauthier pour former la carrière Gauthier & Wincqz. En 2017, elle présentait une superficie d'environ 80 hectares, et une nouvelle extension est apparue en 2019.

En 1898, une nouvelle carrière de 140 hectares fut ouverte, nommée carrière Clypot à Neufvilles, par Hector Heremans. En 2000, les deux carrières sont devenues une seule entité appartenant à la Pierre Bleue Belge.

Enfin, en 2006, une nouvelle carrière, la carrière de Tellier des Prés, faisant 170 hectares, a fait son apparition.⁹²



Figure 22 – Carrière Gauthier & Wincqz

Source : « Notre Histoire » (n. d.). Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/notre-histoire/> (Consulté le 19 juillet 2024).

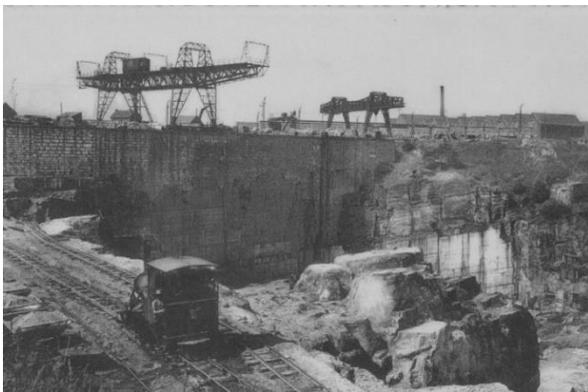


Figure 23 – Carrière de Clypot



Figure 24 – Carrière Tellier des Prés

2.2 Minéraux et classification

Il est important de noter que divers minéraux sont intrinsèquement liés à leurs lieux d'exploitation. Là où il était autrefois difficile de déterminer la composition géologique exacte enfouie sous la surface terrestre, des études variées, y compris l'élaboration de la carte géologique belge⁹³, ont permis d'établir que la nature environnementale

⁹² « Notre Histoire » (n. d.). Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/notre-histoire/> (Consulté le 19 juillet 2024).

⁹³ Engels, P., Legrain, X., (2007). « Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000 ». Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Laboratoire de Géopédologie. Version 2. 75 pages. En ligne : https://www.fichierecologique.be/resources/LCNSW_V2.pdf (Consulté le 3 juin 2024).

d'une région pouvait être un indicateur de la typologie des minéraux présents dans celle-ci. Tous les minéraux présentent des caractéristiques qui constituent leur capacité ainsi que leur apparence.

Ces minéraux sont regroupés en trois grandes familles distinctes.

Tout d'abord, la roche sédimentaire, à laquelle appartient la pierre bleue, se forme par l'agrégation de divers dépôts principalement marins et se caractérise par ses couches stratifiées lors de l'analyse du sol. Les roches sédimentaires, en raison de leur prévalence dans le sous-sol, se distinguent par une variété de caractéristiques physiques, ce qui les conduit à être classifiées en plusieurs catégories distinctes. Parmi ces catégories, on compte les roches carbonatées, qui se caractérisent par leur composition en carbonates, les roches siliceuses, constituées essentiellement de silice, les roches carbonées, qui intègrent une part considérable de matière organique, et enfin, les roches évaporitiques, composées principalement de minéraux précipités suite à l'évaporation de l'eau⁹⁴.

Ensuite, on trouve la roche magmatique, issue de la solidification de magma, générant soit des cristaux profonds donnant naissance à des roches plutoniques, soit des roches magmatiques en cas d'éruption en surface. Il est également possible de retrouver des roches intermédiaires dits périplutoniques ou hypovolcaniques, en semi-profondeur et à texture microgrenue, générant des fissures et donc des intrusions filoniennes⁹⁵.

Enfin, les roches métamorphiques résultent de la transformation des deux catégories précédentes soumises aux variations des conditions climatiques, notamment les fluctuations de pression et de température. Deux catégories de roches métamorphiques apparaissent selon leur texture opposées et reconnaissables : les roches métamorphiques foliées, avec un effet de stratification en couches, et non foliées⁹⁶.

Ces catégories sont déterminantes dans la caractérisation des ressources minérales, car elles influent sur les propriétés et les usages potentiels de ces matériaux. De plus, lors de leur extraction, ces minéraux peuvent se présenter sous différentes formes physiques, qu'ils soient meubles, peu consolidés ou consolidés. Cette diversité de catégories et de sous-catégories contribue à l'adaptabilité des matériaux en fonction des besoins spécifiques, en constante évolution à travers le temps⁹⁷.

⁹⁴ Dejonghe, L., (2007). « Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie ». Ministère de la région wallonne. Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement. 53 pages. En ligne : https://geologie.wallonie.be/files/ressources/geologie/publications/GuideLecture_CarteGeologique_3edition_0708.pdf (Consulté le 16 février 2024).

⁹⁵ « Classifications des roches ». (2005). COPRO asbl, BCCA, UBAtc. 10 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/normes/doc/PTV844FR.pdf> (Consulté le 16 février 2024).

⁹⁶ Idem

⁹⁷ Poty, E., (2012). « Cours Géologie. 1^{er} bachelier en sciences géologiques. 2^{ème} bachelier en sciences géographiques ». Département de géologie. Université de Liège. 150 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/111399/1/Cours%20de%20g%C3%A9ologie%202012%20E.POTY.pdf> (Consulté le 17 février 2024).

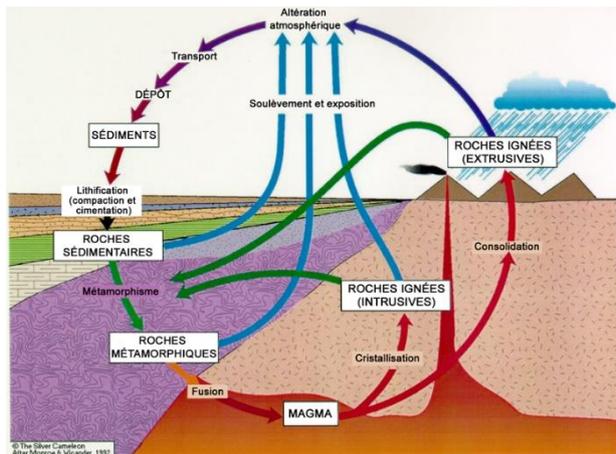


Figure 25 : « Diagramme du cycle de la roche ». Source : « The Rock Cycle ». Aeronautics and Space Administration.

2.3 Propriétés et caractéristiques de la pierre bleue

L'utilisation des pierres bleues découle des capacités physiques qu'elles contiennent et ainsi de ce qu'elles offrent. Cette partie met en évidence les capacités des pierres et particulièrement la pierre bleue belge dans son utilisation en s'appuyant sur des études, que ce soit récent ou datant de la fin du XIX^{ème} siècle, époque d'apogée dans son utilisation.

Au 19^e siècle, la description des propriétés des matériaux se faisait principalement de manière théorique à travers des ouvrages. Des études approfondies ont été ainsi initiées pour mieux appréhender les caractéristiques de la pierre bleue belge et décrire les informations relatives à son utilisation dans le domaine de la construction. L'architecte Paul Combaz a significativement contribué à cette démarche à travers son ouvrage technique « *La Construction : Principes et Applications* »⁹⁸, publié en 1895. L'objectif principal de cet ouvrage était d'informer les ingénieurs et architectes sur les principes fondamentaux de la construction, ainsi que sur les techniques et les matériaux couramment utilisés. Ainsi, on y découvre des matériaux tels que l'acier, le verre, la pierre, mais aussi le béton, qui y faisait ses débuts. Dans l'un de ses volumes, Combaz met en lumière l'importance de la pierre bleue belge dans la construction wallonne, soulignant ses qualités exceptionnelles telles que la résistance, la facilité de taille, l'élasticité et la durabilité. Cette contribution a joué un rôle crucial dans la diffusion de connaissances pratiques sur l'utilisation de la pierre bleue belge, encourageant ainsi son intégration croissante dans le domaine de la construction. Il déclare que le petit granit, ou la pierre bleue belge, peut être considéré comme la véritable pierre nationale de la Belgique et parmi les meilleures pierres à bâtir connues. Il met en avant sa résistance remarquable à l'écrasement, sa facilité de taille permettant l'exécution de moulures fines et de sculptures complexes, ainsi que son élasticité suffisante et son inaltérabilité totale face au gel et aux intempéries, offrant

⁹⁸ Combaz, P., (1895). « *La Construction. Principes et applications* ». E. Lyon-Claesen, Paris.

une durabilité quasiment illimitée. Ainsi, les écrits de Paul Combaz ont non seulement élargi les connaissances sur la pierre bleue belge, mais ont également favorisé son adoption généralisée dans le secteur de la construction, soulignant son rôle privilégié dans le patrimoine architectural belge⁹⁹.

En 2001, le Buildwise, a concrétisé l'approche performancielle plus récente de la pierre bleue par une étude approfondie pour réviser la note d'information technique (NIT 156) consacrée à la pierre bleue belge, en collaboration avec l'asbl Pierres et Marbres de Wallonie et d'autres chercheurs spécialisés. Cette initiative a abouti à la publication de la NIT 220¹⁰⁰, une documentation exhaustive explorant les propriétés physiques de la pierre bleue. Cette révision ne se limite pas aux seuls tests de caractérisation évaluant les performances physiques, le confort d'usage, et la durabilité de la pierre. Elle inclut également des informations précises sur les fonctions que peut remplir la pierre bleue dans la construction, telles que les dimensions standardisées et les finitions possibles. Ces détails sont fournis dans le contexte de la multifonctionnalité potentielle de ce matériau. Il est essentiel de souligner que ces explications détaillées découlent directement des performances évaluées de cette pierre. En effet, la polyvalence de la pierre bleue, qui peut être utilisée selon des dimensions standardisées tout en offrant diverses finitions, découle intrinsèquement de ses performances exceptionnelles. Cette approche complète permet une certification non formelle du produit et donc permet aux professionnels du secteur de la construction de disposer d'informations précises et actualisées, favorisant ainsi des choix éclairés dans l'utilisation de la pierre bleue belge dans diverses applications architecturales et constructives.

	Référence	Unités	Moyenne	Ecart-type	n (1)	E- ou E+
Masse volumique apparente	NBN EN 1936: 2007	kg/m ³	2690	15	233	2668
Porosité	NBN EN 1936: 2007	% vol	0.24	0.15	244	-
Absorption d'eau sous pression atmosphérique	NBN EN 13755: 2008	% m	0.10	0.0	30	-
Résistance à la compression	NBN EN 1926: 2007	MPa	157	21	398	124
Résistance à la flexion sous charge centrée	NBN EN 12372: 2007	MPa	17.0	2.5	499	13.4
Résistance à l'usure (méthode A : Capon)	NBN EN 14157: 2004	mm	20.5	0.7	21	21.9
Module d'élasticité dynamique	NBN EN 14146: 2004	GPa	77.1	3.2	88	71.6
Vitesse du son //	NBN EN 14579: 2004	km/s	5.77	0.21	49	5.39
⊥			5.64	0.45	49	4.79
Gel d'identification (2)	NBN EN 12371: 2010	cycles	Nc = 168	-	48	-
Coefficient de dilatation thermique	NBN EN 14581: 2005	α [1/°C]	4.9 E-06	5.4 E-07	21	5.84E-06
Absorption d'eau par capillarité	NBN EN 1925: 1999	Sans objet en raison de la faible porosité de la pierre				

Figure 26 : « Fiche technique de la pierre bleue belge ». Source : BCCA/COPRO, (2018). « Agrément Technique ATG avec Certification. Pierres naturelles autres : Petit Granit – Pierre Bleue de Belgique ». UBAtc. 6 pages. En ligne : https://api.butqb-ubatc.be/api/public/file/ATGH781F.pdf?_qa=2.127753163.733344050.1681835536-215200005.1681835536 (Consulté le 15 avril 2024).

En outre, les propriétés intrinsèques de la pierre présentent des avantages environnementaux considérables, comme susmentionné, démontrant ainsi que la pierre bleue belge pourrait s'inscrire dans une perspective de gestion durable et circulaire des ressources grâce à ses multiples atouts. Tout d'abord, le matériau est

⁹⁹ Idem

¹⁰⁰ Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

considéré comme local, géosourcé et peu transformé¹⁰¹. De plus, ses caractéristiques physiques lui confèrent une longévité exceptionnelle ainsi qu'une possibilité d'usage multiple. En effet, il est couvert par un Agrément Technique (Atg), régulièrement renouvelé, garantissant une accessibilité et une constance des performances déclarées¹⁰². La gestion des matériaux joue un rôle crucial dans le cycle de vie de la pierre, ce qui la rend particulièrement attrayante dans le cadre d'une approche visant à réduire le gaspillage des matières premières en favorisant l'utilisation d'une architecture locale présentant des qualités environnementales¹⁰³. De ce fait, la pierre bleue a obtenu en 2017 la certification environnementale confirmant ainsi son absence d'impact environnemental et sa facilité de recyclage.

Alors que le matériau semble s'oublier, Gilles Perraudin, architecte engagé, s'est rallié aux partisans de la pierre naturelle, dont le géologue, pour défendre son utilisation contemporaine dans la construction. Dans son ouvrage intitulé « *Construire en pierre de taille aujourd'hui* »¹⁰⁴, Perraudin cherche à démontrer, au-delà des statistiques, que la pierre naturelle conserve une pertinence écologique et durable grâce à ses caractéristiques intrinsèques, notamment sa longévité. L'architecte met en avant divers aspects conceptuels de la pierre, tels que l'esthétisme, la durabilité, les performances et la préservation du patrimoine. À travers son expérience professionnelle, il partage ses connaissances pour souligner l'importance que la pierre massive, y compris la pierre bleue, a eue dans le domaine de la construction par le passé. Il affirme que cette importance demeure pertinente dans les initiatives innovantes actuelles. Pour Perraudin, la pierre n'est pas simplement un matériau de construction, mais un élément essentiel qui peut contribuer à des pratiques écologiques et durables. Son soutien à la pierre dans le contexte contemporain repose sur la conviction que ses qualités intrinsèques peuvent s'aligner avec les exigences modernes en matière de construction tout en préservant et honorant l'héritage architectural. Ainsi, son objectif est d'éduquer et de sensibiliser à l'importance continue de la pierre massive dans un monde en constante évolution. Cela apporte un point de vue important pour ce travail, se fiant à un regard architectural et réaliste de l'emploi futur de la pierre bleue et des pierres de tailles par leur pérennité.

2.4 Usage de la pierre bleue et multifonctionnalité

La pierre bleue belge est un calcaire bioclastique faisant partie de la catégorie des roches consolidées et compactes largement utilisé en Belgique pour diverses

¹⁰¹ « L'appellation pierre locale » (n. d.) *Pierre Bleue de Wallonie*. En ligne : <http://www.pierrelocale.be/> (Consulté le 20 avril 2024).

¹⁰² BCCA/COPRO, (2018). « Agrément Technique ATG avec Certification. Pierres naturelles autres : Petit Granit – Pierre Bleue de Belgique ». UBAtc. 6 pages. En ligne : <https://api.butgb-ubatc.be/api/public/file/ATGH781F.pdf?qa=2.127753163.733344050.1681835536-215200005.1681835536> (Consulté le 15 avril 2024).

¹⁰³ Bornarel, A., Gauzin-Müller, D., Madec, P., (2020) « Vers une architecture frugale ». Manifeste de la frugalité heureuse et créative. 3 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2022/03/so.pdf> (Consulté le 13 avril 2024).

¹⁰⁴ Perraudin, G., (2013). « *Construire en pierre de taille aujourd'hui* ». Presses du Réel. 64 pages. ISBN 9782840666783

applications urbaines et paysagères, telles que les revêtements de sol et de murs, les renforts de façades, les soubassements, ainsi que pour les éléments de décoration comme les sculptures et les meubles¹⁰⁵. Son utilisation en Belgique, jadis d'usage lourd, est due à ses qualités telles que sa durabilité, sa résistance et sa facilité de travail, et cela grâce à sa composition compacte composée principalement de crinoïdes¹⁰⁶. De plus, le matériau offre une grande variété de teintes et de finitions susceptible de prendre des finitions marbrières (poli, adouci, ...) ¹⁰⁷.

Un grand intérêt pour l'histoire et l'évolution du patrimoine local belge dans son utilisation est manifeste, ce qui a incité plusieurs chercheurs à mener des études approfondies sur le sujet. Parmi eux, Eric Groessens a écrit plusieurs ouvrages sur la pierre bleue, notamment « *Belgian Stone, a review* »¹⁰⁸, « *Le calcaire de Meuse, un matériau belge exporté depuis les Romains* »¹⁰⁹, et « *L'industrie des carrières et des roches ornementales en Belgique* »¹¹⁰. Dans un ouvrage datant de 1994 intitulé « *L'origine et l'évolution de l'expression 'petit granit'* »¹¹¹, Groessens s'attache à retracer le plus ancien nom connu pour le petit granit, également appelé pierre bleue belge. En examinant des documents historiques, il a constaté que cette pierre était déjà largement utilisée dans la construction en Belgique bien avant sa date d'utilisation connue (au XVI^e siècle dans le Hainaut et au XIX^e siècle à Liège). De plus, il a observé que son utilisation variait en fonction de son usage et de la culture. D'autres auteurs, tels que Cristina Marchi et Francis Tourneur, se sont intéressés à l'utilisation de la pierre bleue belge dans la construction en Belgique ainsi qu'à ses impacts sur le patrimoine culturel et environnemental. Dans leur ouvrage « *Vies de pierres - La pierre ornementale en Belgique : état de la question* »¹¹², ces experts explorent l'historique de l'exploitation de cette pierre, son rôle dans l'architecture en tant que matériau de construction et en décoration artistique, ainsi que les défis liés à la conservation et la restauration des bâtiments historiques construits avec cette pierre. L'objectif de cette étude est de sensibiliser le public à l'importance de la pierre bleue belge en tant que

¹⁰⁵ Bernaldez, L., Blazquez, G., Pereira, D., Tourneur, F. (2014). « Petit Granit: A Belgian limestone used in heritage, construction and sculpture ». IUGS. 6 pages. En ligne : <https://www.episodes.org/journal/view.html?doi=10.18814/epiugs/2015/v38i2/003> (Consulté le 17 mai 2024).

¹⁰⁶ Tourneur, F., (2019) « Pierre bleue : caractéristiques géologiques, économie locale et applications ». *Pierre et Marbres de Wallonie, Pôle de la Pierre, Objectif Blue Stone*. 101 pages. En ligne : <https://www.objectifbluestone.eu/wp-content/uploads/2019/10/1.-Francis-TOURNEUR-Introduction.pdf> (Consulté le 15 mai 2024).

¹⁰⁷ « Nos finitions et textures ». (n.d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

¹⁰⁸ Groessens, E. (1987). "Belgian stone, a review". *Bull de la Soc belge de Géol hors-série Centenaire* : 75–87. En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/096%20-%201987/bsbg_96_1987_extra-p075-088.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

¹⁰⁹ Groessens, E., (2004). « Le calcaire de Meuse, un matériau belge exporté depuis les Romains ». Article des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques. In: *Carrières et constructions en France et dans les pays limitrophes IV. Actes du 126e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, « Terres et hommes du Sud »*. Toulouse, Paris. N° 126-8, 18 pages (pp. 155-172). En ligne : https://www.persee.fr/doc/acths_0000-0001_2004_act_126_4_5021 (Consulté le 3 juillet 2024).

¹¹⁰ Groessens, E., (1992). « L'industrie des carrières et de roches ornementales en Belgique ». *Mines et Carrières*. N° 74, 5 pages (pp. 91-95).

¹¹¹ Groessens, E., (1993). « L'origine et l'évolution de l'expression « petit-granit » ». *Bulletin de la Société belge de Géologie*, T. 102 (3-4), 6 pages (pp. 271-276). En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/102%20-%201993/bsbg_102_1993_p271-276.pdf (Consulté le 3 juillet 2024).

¹¹² Marchi, C., Tourneur, F., (2002). « Vies de pierres – La pierre ornementale en Belgique – Etat de la question ». *Pierres Et Marbres De Wallonie*. Belgique. 212 pages. ISBN 2960029402

patrimoine culturel et de promouvoir une gestion durable des carrières afin de préserver cette ressource naturelle unique.

Par ailleurs, la pierre bleue et d'autres matériaux de taille ont offert la possibilité de créer une liberté dans la conception et multifonctionnelle, intrinsèque au matériau. En effet, entre la fin du XIXe siècle et le début du XXe siècle, le mouvement artistique moderne, l'Art Nouveau, a vu le jour dans la capitale européenne, Bruxelles¹¹³. Alors que l'industrialisation émergeait comme un nouveau mode de vie, ces mouvements novateurs ont permis aux artistes et à la bourgeoisie de transcender les contraintes de cette mécanisation par le biais de la créativité. L'architecture, en particulier, a intégré des éléments décoratifs apportant une variété d'émotions de liberté à la gestuelle architecturale, que ce soit à travers des formes organiques et des motifs inspirés de la nature. Bien que l'ère de l'Art Nouveau ait été relativement brève, un autre mouvement, caractérisé par des conceptions plus géométriques et fonctionnelles, a émergé, préservant ainsi l'idéologie de la liberté : l'Art Déco¹¹⁴. Ces deux mouvements successifs et antagonistes ont engendré un sentiment de liberté harmonieusement associé aux propriétés des matériaux de taille tels que la pierre, le fer et le verre, étant facilement manipulables et modulables.



Figure 27 : « La Maison Saint-Cyr ».
Source : Wikipédia



Figure 28 : « L'Hôtel Hannon ». Source : Wikipédia



Figure 29 : « La Maison d'Arthur Nelissen ».
Source : Wikipédia

À titre d'exemple, de nombreux édifices conçus par des architectes renommés, tel que Victor Horta, comme le "*Palais des Beaux-Arts - Bozar*" érigé en 1929, illustrent parfaitement cette tendance. Horta fut l'un des pionniers à véritablement concevoir ses projets en pierre, apportant ainsi une innovation notable au domaine architectural. Animé par le désir d'exprimer son art, influencé par le mouvement de l'art nouveau, il privilégia souvent la pierre dans sa matérialité, car elle lui permettait de détailler ses œuvres tout en conservant une impression de légèreté. En collaboration avec les Carrières de la Pierre Bleue Belge, Jacques Evrard met en lumière, à travers un ouvrage photogrammétrique intitulé « *La Pierre dans l'œuvre de Victor Horta* »¹¹⁵, les multiples interventions de ce dernier avec la pierre, notamment la pierre bleue, sur de nombreux projets. Comme il l'exprime, « *ce livre révèle la beauté de constructions déjà*

¹¹³ Dubois, C., Voituron, S., (2016). « *Bruxelles : Art Nouveau* ». Racine. Bruxelles. 175 pages. ISBN 978-2-87386-975-5

¹¹⁴ Aubry, F., Vandenbreenen, J., Vanlaethem, F., (2006). « *Art nouveau, art déco & modernisme* ». Racine. Bruxelles. 408 pages. ISBN 2873864672

¹¹⁵ Evrard, J., (1996). « *La Pierre dans l'œuvre de Victor Horta* ». AAM Editions. Bruxelles. 123 pages. ISBN 9782871430933

centenaires, tout en ayant pour ambition de contribuer à la renaissance d'une architecture originale qui renoue avec les arts appliqués, les modénatures, les textures et la pierre, dans le but de défier le temps »¹¹⁶.



Figure 30 : « Hôtel Tassel ». Source : Wikipédia



Figure 31 : « L'orchestre nationale belge ». Source : Wikipédia



Figure 32 : « La Maison Horta ». Source : Wikipédia

D'autres ont aussi réalisé des œuvres sculpturales tel que le « Monument à Frédéric de Merode » réalisé entre 1897 et 1898 par Paul Dubois en collaboration avec Henry Van de Velde¹¹⁷. Cette œuvre a été bâtie en utilisant des matériaux de taille, incluant la pierre bleue belge, pour mettre en relief ces projets architecturaux en tant qu'éléments ornementaux. De nombreux autres bâtiments prestigieux en Belgique présentent de la pierre bleue belge, comme le Palais du Centenaire par Joseph Van Neck ou les Galeries Royales Saint-Hubert par Jean-Pierre Cluysenaer. Cette pierre a également été utilisée pour des éléments d'aménagement urbain comme la Gare des Guillemins, créée par Santiago Calatrava¹¹⁸, ainsi que pour la création de sculptures artistiques par le célèbre sculpteur belge, Henri Puvrez¹¹⁹.



Figure 33 : « Monument au comte Frédéric de Mérode ». Source : Wikipédia



Figure 34 : « La gare des Guillemins ». Source : Wikipédia



Figure 35 : « Les Galeries Royales Sainte-Hubert ». Source : Wikipédia

¹¹⁶ Idem

¹¹⁷ Leclercq, C., (2016). « Paul Du Bois, par Catherine Leclercq ». Académie Royale de Belgique. 12 pages. (pp. 124-134). En ligne : https://www.academieroyale.be/Academie/documents/Annuaire_2016_Dubois24024.pdf (Consulté le 24 mai 2024).

¹¹⁸ Tourneur, F., (2019) « Pierre bleue : caractéristiques géologiques, économie locale et applications ». Pierre et Marbres de Wallonie, Pôle de la Pierre, Objectif Blue Stone. 101 pages. En ligne : <https://www.objectifbluestone.eu/wp-content/uploads/2019/10/1.-Francis-TOURNEUR-Introduction.pdf> (Consulté le 15 mai 2024).

¹¹⁹ De Keyser, E., (1991). « Notice sur Henri Puvrez ». Académie Royale de Belgique. 29 pages (pp. 145-174). En ligne : https://marcilhacqalerie.com/marci_data/upload/files/PUVREZHenriARB_199148613.pdf (Consulté le 17 mai 2024).

Cependant, comme explicité dans la partie consacrée aux enjeux de l'innovation, la Seconde Guerre mondiale a engendré un courant contemporain favorisant l'usage accru de matériaux industrialisés tels que l'acier et le béton. De ce fait, on constate, depuis l'année 1950, une diminution de l'utilisation de la pierre bleue, aboutissant finalement à son absence dans le domaine de la construction.

2.5 Conclusion

Ce chapitre offre une exploration approfondie de l'importance historique de la pierre bleue belge à travers ses différentes dimensions : sa composition et sa provenance naturelle, son exploitation dans les carrières et son utilisation dans la construction. En examinant ces aspects, il devient évident que la pierre bleue belge dépasse son simple rôle de matériau de construction pour devenir un pilier fondamental du patrimoine géologique, culturel et architectural de la Belgique.

Au cours des siècles, les carrières ont joué un rôle décisif dans l'approvisionnement en matériaux de construction, contribuant ainsi à l'édification locale, régionale et internationale. De plus, l'étude de l'histoire géologique et de l'exploitation des carrières met en lumière la nature intrinsèque de la pierre bleue belge et sa formation, soulignant ainsi sa pérennité et sa durabilité en tant que ressource naturelle.

Comprendre l'histoire de la pierre bleue belge revêt une importance capitale pour répondre aux défis contemporains en matière climatique et environnementale. En tirant des enseignements du passé, il devient possible de prendre des décisions éclairées afin d'assurer une exploitation durable des ressources minérales, de réduire l'impact environnemental de leur extraction et de promouvoir des pratiques de construction respectueuses de l'environnement.

En somme, ce chapitre témoigne de l'importance continue de la pierre bleue belge dans le paysage géologique, culturel et architectural de la Belgique. Il souligne également l'importance de préserver cette richesse naturelle tout en adaptant les pratiques d'exploitation pour répondre aux exigences contemporaines de durabilité et de protection de l'environnement. Les carrières en Wallonie, bien plus que de simples fournisseurs de matériaux de construction, constituent un témoignage vivant de l'histoire géologique, culturelle et industrielle de la région, appelant à une gestion réfléchie et respectueuse de l'environnement pour garantir un développement durable pour les générations futures.

3 CHAPITRE 02. ETAT EN USAGE DE LA PIERRE BLEUE BELGE

Après avoir traité de l'apparition des carrières de pierre bleue en Belgique et de leur évolution, ce chapitre vise à approfondir la mise en pratique et l'application de cette pierre à travers différentes échelles, de la macro à la micro, en commençant par son utilisation généralisée dans la construction en Belgique.

À une échelle macro, l'exploration portera sur l'usage de la pierre bleue belge dans les constructions à travers le pays, en mettant en avant son importance dans l'architecture et le patrimoine de Liège. Cette perspective large permettra de saisir l'ampleur de l'utilisation de cette pierre dans les bâtiments et les infrastructures belges.

Ensuite, l'échelle sera réduite (micro) pour se concentrer sur un exemple spécifique : la Maison aux Cariatides à Liège. Cette demeure, construite presque entièrement en pierre bleue belge, offre un cas d'étude concret et détaillé. Elle sera comparée à d'autres bâtis liégeois, contemporains de celle-ci, afin d'évaluer les critères d'utilisation matérielle de l'époque. L'analyse de son gisement et de son utilisation permettra de mettre en situation le développement d'une filière de réemploi, illustrant ainsi le potentiel de recyclage et de réutilisation de cette pierre.

Par ailleurs, une mise en contexte nationale permettra de comprendre l'importance actuelle des pierres en construction et les enjeux liés à la pérennité de leur utilisation. Cette perspective aidera à identifier les défis et les opportunités pour garantir la continuité de l'utilisation de la pierre bleue belge dans le futur.

Enfin, une collaboration avec l'entreprise de la Pierre Bleue Belge a été établie pour approfondir la compréhension du fonctionnement actuel du gisement de cette pierre. Cela permettra d'offrir une vision pratique et actuelle du secteur, sur laquelle il sera possible de se baser pour favoriser cette nouvelle filière.

L'importance de ce chapitre réside donc dans la compréhension, à la fois macro et micro, de la propagation et de l'utilisation de la pierre bleue belge. En retraçant son histoire et en envisageant son efficacité continue dans divers usages, en particulier dans le domaine de la construction, il sera possible d'apprécier sa valeur et son potentiel pour les générations futures.

3.1 Approche macroscopique : Liège

La pierre bleue belge, également connue sous le nom de "petit granit", est apparue durant l'âge tournaisien dans les sous-sols du Hainaut¹²⁰. Comme expliqué, la Wallonie possède une richesse géologique considérable avec une variété de matériaux géosourcés disponibles pour la construction et l'industrie. La pierre bleue belge est l'un des matériaux les plus exploités depuis longtemps avec une concentration d'activité de 90% en Wallonie¹²¹. Environ 80% de la production est utilisée localement, les 20% restants étant principalement exportés vers les Pays-Bas, la France, l'Allemagne, la Suisse et les pays scandinaves¹²². Les carrières de pierre bleue se sont principalement développées dans le Hainaut, à Namur et à Liège.

Ainsi, l'analyse à une échelle plus vaste se concentrera sur la ville de Liège, ma province natale, imprégnée d'une riche histoire architecturale.

En effet, cette province entretient une relation étroite avec la pierre bleue et l'histoire de la taille de pierre, car elle compte le plus grand nombre de carrières actives, avec près de 59 sites répertoriés selon une enquête de 2002¹²³. Les premières carrières liégeoises ont fait leur apparition de manière modeste au XVIIe siècle. Cependant, ce n'est qu'à partir de la seconde moitié du XIXe siècle que l'ambition d'exploiter ces ressources terrestres et de les intégrer dans les diverses voies liégeoises a pris de l'ampleur¹²⁴.

Province	Nombre de carrières actives	Nombre d'emplois directs	Production totale (en T)
Brabant Wallon	6	211	3.805.000
Hainaut	44	2.450	30.637.000
Liège	59	1.163	11.965.000
Luxembourg	28	256	3.930.000
Namur	43	899	14.853.000
Totaux	180	5.179	65.190.000

Figure 36 : « Nombre de carrières, nombre d'emplois directs et production totale du secteur extractif pour les différentes provinces wallonnes en 2002 ». Source : Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

Les raisons de ce retard dans l'exploitation des carrières restent en grande partie inexplicables, bien qu'il soit possible que des obstacles tel que le drainage des cours

¹²⁰ Chudde, C., Harotin, J.J., Majot, J.P. (1990) « Pierres et Marbres de Wallonie » Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles. 184 pages. ISBN 2871430683

¹²¹ idem

¹²² Groessens, E. (1987). "Belgian stone, a review". Bull. de la Soc belge de Géol hors-série Centenaire : 75-87. En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/096%20-%201987/bsbg_96_1987_extra-p075-088.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

¹²³ Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages.

¹²⁴ Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

d'eau, similaire à ce qui a été observé à Namur et à Tournai, aient pu jouer un rôle, en contraste avec la situation du Hainaut, où l'absence de voies navigables prédomine¹²⁵. Il est également à noter que la Wallonie conserve aujourd'hui une proportion significative de bâtiments résidentiels, principalement d'origine historique (antérieurs à 1919), tandis que la Flandre, en raison des destructions résultant de la Première Guerre mondiale, a dû reconstruire la quasi-totalité de son patrimoine architectural¹²⁶. Cette tendance à préserver le passé est particulièrement évidente dans la ville de Liège, qui se distingue comme l'une des cités belges possédant le plus grand nombre de logements historiques. En effet, près de 45% des habitations résidentielles liégeoises datent d'une époque antérieure à 1919¹²⁷.

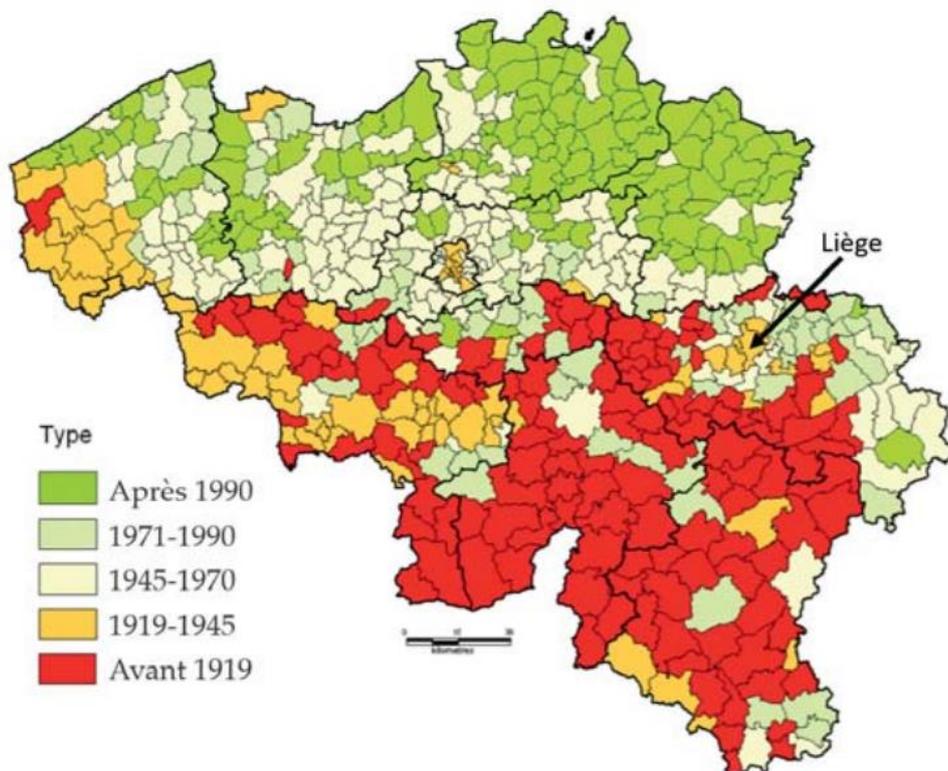


Figure 37 : « Carte de synthèses des périodes de constructions et transformations – surreprésentation par commune en Belgique en 2001 ». Source : Goossens, L., Thomas, I., Vanneste, D., (2001). « Le logement en Belgique, Enquête socio-économique - Monographie ». Statbel. 223 pages. En ligne : https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over_Statbel_FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf (Consulté le 20 juillet 2024).

Cet ensemble urbanistique historique wallon s'est rapidement développé grâce à l'évolution des techniques de construction, notamment la taille de la pierre, qui a été particulièrement remarquable au cours du XIXe siècle. De plus, cette époque s'est distinguée par l'avènement de deux révolutions majeures : la révolution de la vapeur aux environs de 1800, immédiatement suivie par l'avènement de l'électricité vers 1880,

¹²⁵ idem

¹²⁶ Goossens, L., Thomas, I., Vanneste, D., (2001). « Enquête socio-économique 2001. Monographies. Le logement en Belgique ». Statbel. 223 pages. En ligne : https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over_Statbel_FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf (Consulté le 20 juillet 2024).

¹²⁷ « Feuille de route. Pour une rénovation durable, ambitieuse et efficace des copropriétés ». (2021). Interreg. 80 pages. En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/247671/1/190317-306_ACE_retrofitting_masterplan_4-version_4000dpi.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

ce qui a engendré un essor économique et industriel considérable¹²⁸. Cette révolution industrielle a encouragé la production en série de biens commerciaux, stimulant de manière significative la capacité de production et, par conséquent, générant des bénéfices économiques. Durant cette période, contrairement à l'après-Seconde Guerre, l'innovation en matière de techniques de construction a permis à une variété de matériaux, comprenant non seulement les matériaux traditionnels tels que la pierre de taille et le bois, mais aussi les nouveaux matériaux tels que le béton et l'acier. Ceux-ci se sont associés afin de favoriser l'évolution de l'architecture résidentielle. En corrélation avec le facteur économique précédent mentionné, cette révolution industrielle a donné lieu à une division en deux classes socio-économiques distinctes. Au cours de cette période, les individus issus de milieux économiquement désavantagés ont été contraints de se convertir en travailleurs, tout en étant exposés à l'influence sociale découlant du pouvoir de la bourgeoisie, qui constituait la classe aisée. En effet, cette classe ouvrière, désignée sous l'appellation de "subsistance", était motivée par l'impératif de survivre plutôt que par des aspirations de bien-être, d'où découlent les concepts de "conscience" et "non-conscience" que la bourgeoisie détermine dans la vie sociale¹²⁹. En ce qui concerne le domaine architectural, il était impératif de créer de nouvelles habitations pour répondre aux besoins croissants découlant de la rapide croissance démographique. Les provinces de Liège et du Hainaut se démarquaient en tant que régions industrielles prédominantes en Belgique¹³⁰.

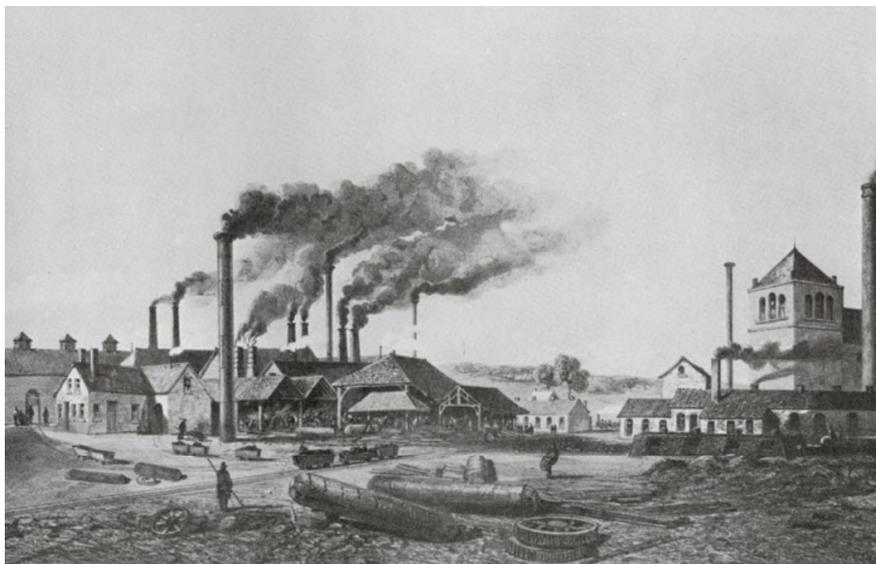


Figure 38 : « Vue des établissements industriels de la Belgique ». Source : Toovey, E., (1854). « La société anonyme d'Ougrée à Seraing au milieu du XIX^e Siècle : Un symbole de l'alliance du fer et du charbon, fondement du développement économique de la région liégeoise ». *Belgique Industrielle. Bibliothèque Royale Albert 1^{er}, Bruxelles. Planche 110.*

¹²⁸ Péters, A., Pirot, P., Xhayet, G., (2014). « Liège avant la Grande Guerre ». Province de Liège. 9 pages. En ligne : <https://www.provincedeliege.be/sites/default/files/media/524/EPL%20-%20Dossier%2014-18%20-%2006%20-%20Li%C3%A8ge%20avant%20la%20Grande%20Guerre.pdf> (Consulté le 22 juillet 2024).

¹²⁹ Haesenne-Peremans, N., (1981). « La pauvreté dans la région liégeoise à l'aube de la révolution industrielle : Un siècle de tensions sociales (1730-1830). Presses universitaires de Liège. Liège. 509 pages (pp. 7-20). ISBN : 9791036538117

¹³⁰ « IV. L'expansion démographique du XIX^e siècle ». (2016). *Connaitre La Wallonie. 22 pages (pp.139-158)* En ligne : https://connaitrelawallonie.wallonie.be/sites/wallonie/files/livres/fichiers/wph_histoire_tii_p139-158.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

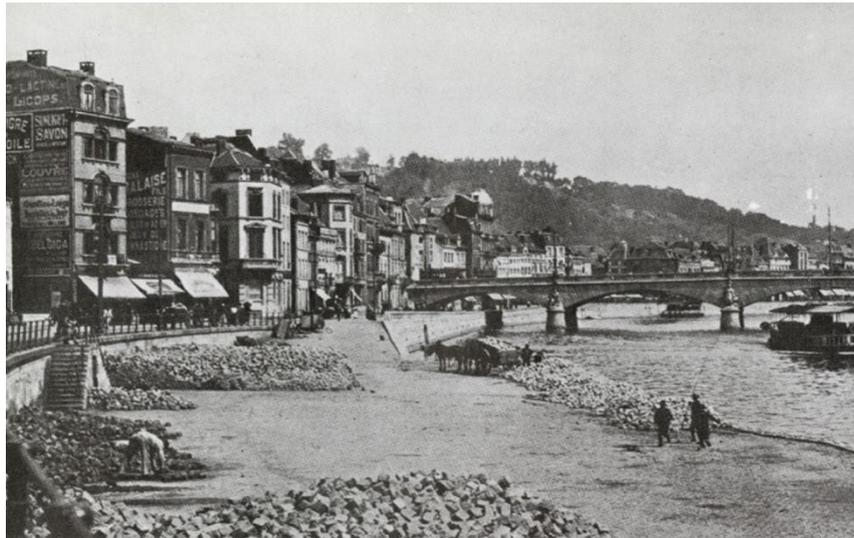


Figure 39 : « Vue du quai de la batte à Liège ». Source : « Le quai de la batte à Liège, Des rives animées, le trafic sur la Meuse : reflets de la grande métropole wallonne ». (1906). *Le Globe Illustré*. Bibliothèque Royale Albert 1^{er}, Bruxelles. Vol. XXI, N°36.

D'une part, on retrouve les maisons bourgeoises, et d'autre part, les modestes logements ouvriers destinés à la simple action de vivre. Ces habitations ouvrières étaient souvent situées à proximité des usines, caractérisées par une uniformité architecturale et un environnement exigü¹³¹, avec seulement parfois de la pierre bleue en liteaux et en soubassement. Cependant, on constatait également un grand nombre d'habitations qui reflétaient l'opulence des classes aisées, manifestée par des façades richement décorées, ornées de sculptures, mosaïques et faïences décoratives, faisant un usage abondant de matériaux plus coûteux, notamment la pierre bleue.



Figure 40 : « Le Bois-du-Luc à Houdeng-Aimeries, 1838-1853 ». Source : Frankignoulle, P., Malherbe, A., Dawance, S., (2001). « Athus, rue d'Ougrée ». *Habiter la Ville*. Labor, Bruxelles. 2 pages (pp. 78-79). En ligne : <https://hdl.handle.net/2268/130775> (Consulté le 17 juillet 2024).



Figure 41 : « Rue aux Laines, Vue d'un ensemble de façades ». Source : Burniat, P., (2012). « Architecture et construction : Le type de la maison urbaine bruxelloise ». *Bruxelles Patrimoines*. N°003-004. En ligne : <https://patrimoine.brussels/liens/publications-numeriques/versions-pdf/articles-de-la-revue-bruxelles-patrimoines/numero-3-4/article-3-4-4> (Consulté le 17 juillet 2024).

¹³¹ Lekane, M., (2017) « Made in Longdoz. Métamorphoses d'un quartier industriel. Dossier Pédagogique ». *Maison de la métallurgie et de l'industrie de Liège*. 40 pages. En ligne : https://www.embarcaderedusavoir.uliege.be/upload/docs/application/pdf/2020-09/dp_mmil_made-in-longdoz.pdf (Consulté le 17 juillet 2024).

La ville de Liège offre ainsi une grande diversité de typologies architecturales, en raison de sa densité de population et des événements historiques précédemment mentionnés. Liège représente environ 31,6 % des logements des cinq provinces wallonnes, ce qui en fait la deuxième province la plus urbanisée, après le Hainaut (38,6%)¹³².

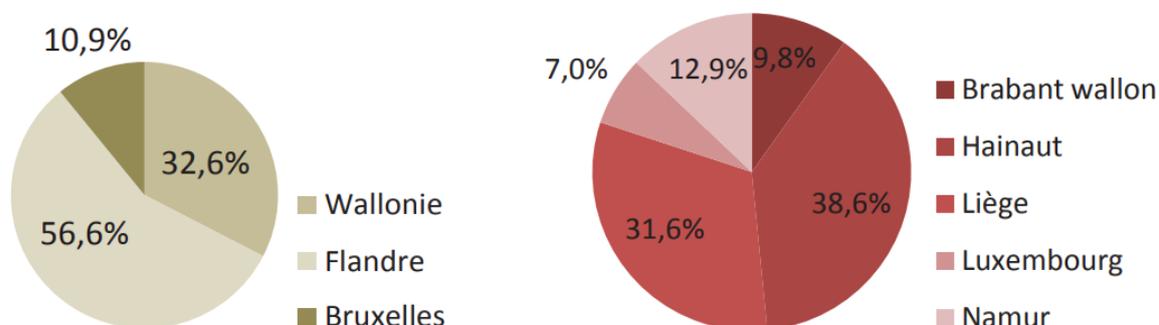


Figure 42 : « Répartition des logements au sein des 3 Régions de Belgique et Répartition des logements entre les 5 Provinces de la Région wallonne ». Source : « Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servelet/Repository/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024)

L'histoire de Liège au XIXe et au XXe siècle a engendré une variété de typologies architecturales intéressantes. Ces typologies visent à établir une hiérarchie en termes de confort et de richesse pour la population, tout en étant en partie fondées sur les perceptions des habitants. Chaque habitation a été initialement conçue pour refléter l'identité de son propriétaire ainsi que le contexte de vie dans lequel il évolue. Premièrement, en se référant à la carte de « *Typologie du bâti résidentiel* »¹³³ fournie par la ville de Liège, on constate que les parcelles comportant un seul logement (maison individuelle, unifamiliale, mitoyenne ou isolée) prédominent par rapport aux parcelles accueillant plusieurs logements, tels que les immeubles ou les maisons à plusieurs logements. De plus, du point de vue historique, la majorité des bâtiments sont antérieurs à 1919¹³⁴. Il s'agit principalement de maisons ouvrières et de maisons bourgeoises, marquant ainsi la distinction entre les deux principales classes sociales de l'époque. De cette période, en plein essor de la révolution industrielle, on observe également une concentration notable de sites à réaménager, dont la ville de Liège comptait 632 en 2022 et qui sont principalement des friches industrielles¹³⁵. Ainsi, parmi les typologies architecturales les plus propices, on peut identifier les maisons ouvrières, les maisons de maître et les sites industriels.

¹³² « Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servelet/Repository/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024).

¹³³ « Typologie du bâti résidentiel ». (n. d.). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communaux/urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/topologie-du-bati-residentiel> (Consulté le 22 mai 2024).

¹³⁴ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

¹³⁵ « Territoire : Sites à réaménager ». (2020). Iweps. 2 pages. En ligne : https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2020/03/T008-SITES.REAM.-032020_full1.pdf (Consulté le 22 mai 2024).

3.2 Approche microscopique : cas d'étude – La Maison aux cariatides

3.2.1 Choix personnel

Lorsque l'on emprunte régulièrement le passage menant à la Faculté d'Architecture de Liège, située à Outremeuse, on remarque qu'un grand nombre de blocs de pierre bleue de grande dimension ont été utilisés dans l'aménagement du site, assumant un rôle sculptural. Une curiosité concernant l'origine de ces pierres a émergé, car à première vue, une certaine cohérence est perceptible entre les divers morceaux de pierre, comme s'il s'agissait de fragments d'un puzzle désassemblés. Cette constatation m'a conduit à entreprendre une recherche historique visant à retracer l'origine de ces blocs de pierre bleue.

Figure 43



Figure 44



Figure 45



Figure 46



Figure 47



Figure 48



Figure 43-48 : « Iconographies de fragments en pierre bleue belge sur le site de Saint-Luc, Liège ». Source : Natan Burton

Tout d'abord, des entretiens avec plusieurs architectes et enseignants de la Faculté, notamment Jean-Philippe Possoz, Patrick Bribosia, ainsi que l'architecte du site de la Faculté, Simon Higny¹³⁶, ont permis de découvrir que les pierres ne se limitaient pas à une distribution aléatoire sur le site. En réalité, la majorité de ces pierres ont été stockées à l'arrière du bâtiment d'exposition B9 du site. Par conséquent, celles-ci sont dépourvues de toute utilité et sont considérées comme des déchets. On observe ainsi une dépréciation du matériau, alors que sa polyvalence et son caractère frugal ne sont pas respectés, étant utilisé de manière erronée à des fins purement décoratives. De plus, lors de ces discussions avec l'architecte, il est apparu que l'origine de ces pierres remontait à la Rue Louvrex,¹³⁷ et qu'elles ne présentent désormais aucune valeur contextuelle au sein du site où elles étaient entreposées.

3.2.2 Contexte : Rue Louvrex

Avant de localiser précisément le cas d'étude, dont les détails étaient encore inconnus avant une recherche approfondie, il est essentiel de se plonger dans un contexte historique plus large.

La rue Louvrex, un axe majeur de la ville de Liège, s'étend dans le quartier Botanique-Louvrex. Face à elle, se dresse le célèbre jardin botanique, un site classé emblématique de la ville, abritant divers édifices tels que la pharmacie, les serres, les façades et toitures de l'institut botanique, ainsi que l'intérieur du laboratoire de botanique¹³⁸. La rue Louvrex est née de la volonté de rectifier la voie de communication connue sous le nom de Grand Jonckeu, par une délibération du Conseil communal en 1837¹³⁹. Ce Grand Jonckeu, prolongeant plusieurs rues liégeoises, prend son départ à la rue Saint-Gilles pour aboutir à la rue Louvrex et ensuite aux Guillemins. Ce n'est qu'en 1848 que la rue est officiellement baptisée, avec les premiers bâtiments érigés et les architectes lancés dans divers projets de construction¹⁴⁰.

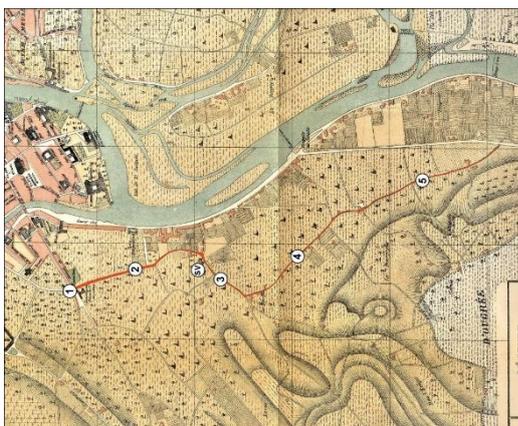


Figure 49 : « Carte représentant le trajet et les repères de la voie du Grand Jonckeu ». Source : « Warzée, C., (2014). « Le jardin botanique et la rue Louvrex ». *Histoires de Liège*. En ligne : <https://histoiresdeliege.wordpress.com/2014/01/28/le-jardin-botanique-et-la-rue-louvrex/> (Consulté le 23 mars 2024).

¹³⁶ Echange avec Simon Higny, Architecte de l'Institut Saint-Luc. 29 septembre 2023.

¹³⁷ Idem

¹³⁸ Delloue, S., De Harlez, N., Frankignoulle, P., (2006). « Historique du parc du Jardin Botanique (Liège) ». ASBL Homme et Ville. 19 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/133717/1/Jardin%20Botanique.pdf> (Consulté le 23 mai 2024).

¹³⁹ Gobert, T., (1976). « Liège à travers les âges : les rues à Liège ». *Culture et Civilisation*. Bruxelles. T.VII (L-Ma). 571 pages (pp. 335-337).

¹⁴⁰ Idem

Son nom rend hommage à Mathias-Guillaume de Louvrex, membre éminent de la famille de Louvrex, ayant marqué Liège au XVIIe et le début du XVIIIe siècle en tant que bourgmestre et érudit¹⁴¹.

Ce quartier prestigieux a attiré de nombreux nobles, qui se sont installés dans ses rues en cours d'aménagement. Outre les bâtiments remarquables du jardin botanique, de magnifiques demeures entourent la zone. Ces maisons de typologie bourgeoise ont abrité plusieurs personnalités notables, telles que le Roi Léopold Ier, le poète Théodore Weustennard et M. Graff, qui a établi une importante fabrique de draps¹⁴².

3.2.3 Architecte : Auguste Castermans

De nombreux architectes ont marqué de leur empreinte la rue Louvrex, parmi lesquels Auguste Castermans. Né dans une famille modeste en 1828¹⁴³, il débuta son parcours académique à l'académie des Beaux-Arts de Liège en 1843, sous la tutelle de Julien-Etienne Rémont¹⁴⁴, lui-même architecte et auteur du nouveau plan du jardin botanique¹⁴⁵.

Il se concentra principalement sur une clientèle bourgeoise, lui permettant ainsi d'utiliser des matériaux de haute qualité pour exprimer son art. Parmi ses réalisations, qui ont été répertoriées dans son ouvrage « *Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées* »¹⁴⁶ figure la villa Désirée à Visé¹⁴⁷, ainsi que plusieurs maisons de maître à Liège, dont une rue Louvrex. Il conçut également des églises en Wallonie, telles que Notre-Dame à Hamoir, Saint-Antoine de Padoue à Verviers, toutes caractérisées par leur dimension artistique, notamment à travers les moulures et les sculptures ornant leurs façades¹⁴⁸.

¹⁴¹ Idem

¹⁴² Gobert, T., (1976). « Liège à travers les âges : les rues à Liège ». Culture et Civilisation. Bruxelles. T.VII (L-Ma). 571 pages (pp. 335-337).

¹⁴³ Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». Bulletin de l'Institut archéologique liégeois. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

¹⁴⁴ Lebens, E., (1881). « L'architecture à Liège, dans Liège : Histoire – Arts – Lettres – Sciences – Industries – Travaux publics ». Imp & lith de J. Daxhelet. Liège. 14 pages (pp. 256-269).

¹⁴⁵ Delloue, S., De Harlez, N., Frankignoulle, P., (2006). « Historique du parc du Jardin Botanique (Liège) ». ASBL Homme et Ville. 19 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/133717/1/Jardin%20Botanique.pdf> (Consulté le 23 mai 2024).

¹⁴⁶ Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

¹⁴⁷ Idem

¹⁴⁸ Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». Bulletin de l'Institut archéologique liégeois. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).



Figure 50 : « Eglise Notre-Dame à Hamoir ». Source : Wikipédia



Figure 51 : « Eglise Saint-Antoine de Padoue à Verviers ». Source : Wikipédia

3.2.4 Le cas d'étude : La Maison aux cariatides

Après avoir identifié l'emplacement précis du projet grâce à des recherches approfondies dans les archives du G.A.R., bibliothèque et centre d'archives de la Faculté d'architecture de l'Université de Liège, une analyse détaillée de l'édifice d'où proviennent les pierres s'avère essentielle pour comprendre l'utilisation des pierres bleues qui le constituent.

Auguste Castermans a certifié le projet nommé « La Maison aux Cariatides » à la demande d'Alfred Dieudonné Ancion, fabricant d'armes et homme politique, et de son épouse Fanny Jamar, au début de la seconde moitié du XIXe siècle¹⁴⁹. Érigé entre 1860 et 1871, ce bâtiment est considéré par Castermans comme l'un de ses projets les plus significatifs, offrant une liberté artistique inestimable, comme présenté dans son ouvrage "Le Parallèle..." aux planches 104 à 118¹⁵⁰.

La maison se compose de trois travées et de trois niveaux, chacun revêtant une esthétique distincte, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur. La façade est ornée de cariatides et d'atlantes au rez-de-chaussée encadrant les trois axes principaux des travées¹⁵¹, tandis que le premier niveau présente quatre colonnes surmontées de chapiteaux imposants. Au deuxième étage, des statues allégoriques symbolisant divers arts ornent le bâtiment¹⁵². Les travées, initialement représentées avec des vitraux de plus petite taille au rez-de-chaussée, s'étendent sur toute la hauteur des deux niveaux supérieurs, éclairant l'intérieur, et sont pourvues de balustrades permettant ainsi une distribution vers six étroits balcons¹⁵³. Les vitraux des deux derniers étages sont surmontés d'un linteau à clés, dont quatre présentent le visage de femmes et deux le

¹⁴⁹ Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». *Bulletin de l'Institut archéologique liégeois*. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

¹⁵⁰ Wilekens, E., (2014). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique van de architect Auguste Castermans ». Université de Gand. Promotrice : Van Santvoort, L. 91 pages. En ligne : https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/162/343/RUG01-002162343_2014_0001_AC.pdf (Consulté le 23 juin 2024).

¹⁵¹ « Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles ». (2020). C.R.M.S.F. Liège. T. 33. 152 pages. ISBN : 978-2-9601866-5-9

¹⁵² Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». *Bulletin de l'Institut archéologique liégeois*. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

¹⁵³ *Idem*

visage d'un homme¹⁵⁴. Dans cette analyse, on remarque également que l'ensemble des murs intérieurs du bâtiment se composent essentiellement de pierre. Seule la matérialité du sol n'a pas pu être déterminée.

Figure 52 : Façade rue de la Maison aux Cariatides

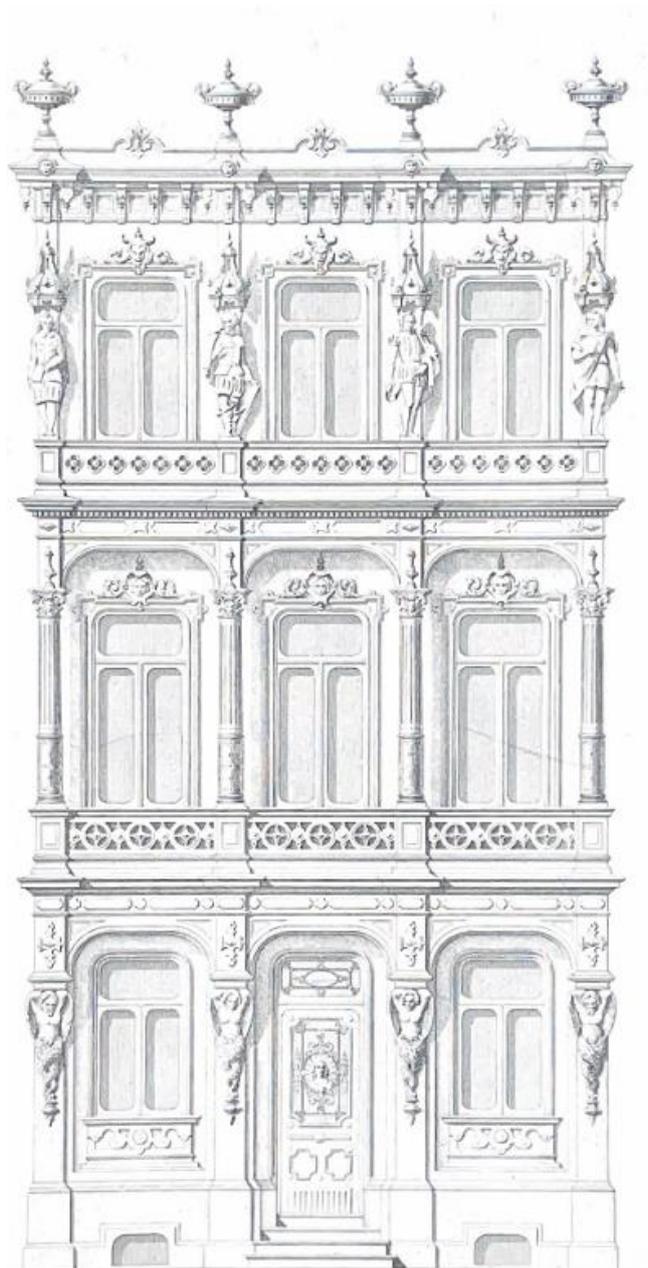


Figure 53 : Détail d'un des cariatides

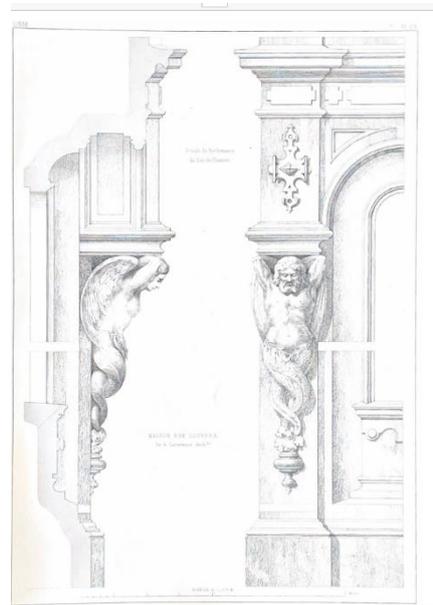


Figure 54 : Détail d'éléments d'ornementation en façade

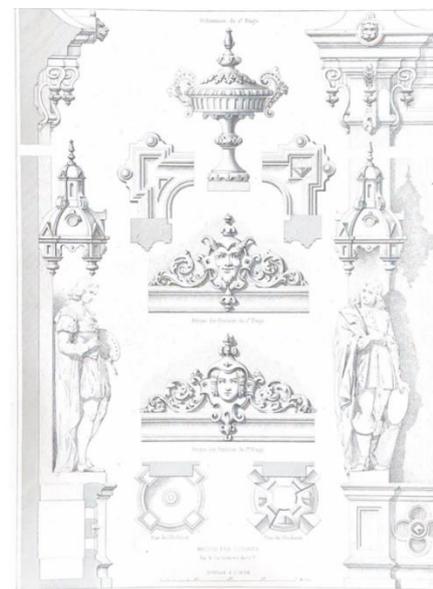


Figure 52, 53 et 54 : « Représentation graphique des éléments d'ornementation en façade de la Maison aux cariatides ». Source : Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

¹⁵⁴ « Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles ». (2020). C.R.M.S.F. Liège. T. 33. 152 pages. ISBN : 978-2-9601866-5-9

Figure 55 : Plan de Rez-de-chaussée et Plan du R+1

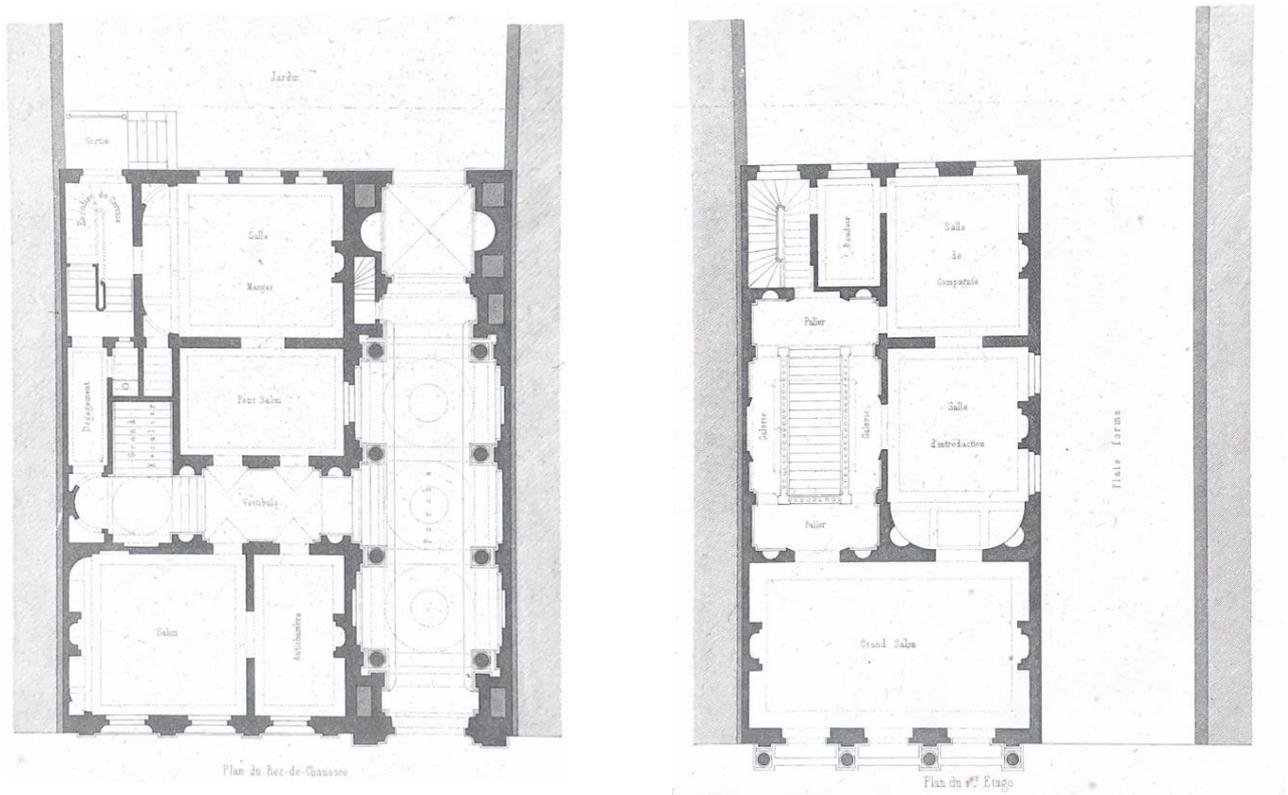


Figure 56 : Détail d'ornementation de la cage d'escalier du R+1



Figure 55 et 56 : « Représentation graphique de l'organisation spatiale du RDC et R+1 et détail d'ornementation de l'intérieur de la Maison aux cariatides ». Source : Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

L'usage de la pierre reste un mystère, bien que des théories l'évoquent pour sa facilité de sculpture ou à la demande du maître d'ouvrage, comme le souligne Francis Tourneur dans le 33ème tome du bulletin de la Commission royale des Monuments, Sites et Fouilles¹⁵⁵.

Cependant, d'autres mystères subsistent quant à la réalisation de cette demeure. En comparaison avec les documents graphiques figurant dans l'ouvrage d'Auguste Castermans, il est évident que l'architecture et l'ornementation de la Maison aux Cariatides ont connu des modifications significatives au cours de sa construction et peu après son achèvement. Tout d'abord, les vases prévus sur l'ensemble de la corniche n'ont jamais été réalisés. De même, la porte d'entrée centrale a été écartée sur une façade latérale et non face à la rue, créant ainsi une entrée dans une cours par un porche. L'objectif était de permettre ultérieurement l'ajout de la maison du fils d'Alfred Dieudonné Ancion vers 1900. La porte d'entrée est ainsi plus modeste, composée de deux vantaux surmontés d'un tympan vitré. Enfin, les statues du dernier étage ont été retirées après 1871¹⁵⁶.

Figure 57



Figure 58



Figure 57 et 58 : « Photographies de la Maison aux cariatides à la fin du XIXe siècle ». Source : Dandoy, A., (n.d.). Liège, Centre d'ARchives et de Documentation de la C.R.M.S.F., fonds de la Ville de Liège, iconothèque, dossier "rue Louvrex"

En 1977, malgré une tentative de développement immobilier par la Société liégeoise de Construction, le bâtiment a été classé en attente d'une décision concernant son statut patrimonial. Finalement, en raison du développement urbain et des infrastructures autoroutières, une demande de démolition a été soumise en 1979, mais

¹⁵⁵ *Idem*

¹⁵⁶ Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». *Bulletin de l'Institut archéologique liégeois*, T. CXXIV, 38 pages. (pp. 231-268).

des appels pour préserver la façade ont été exprimés, notamment en envisageant une réintégration potentielle pour l'extension de l'École d'Hôtellerie¹⁵⁷.

3.2.5 Analyse du gisement historique

Sur la base de documents graphiques de conception du projet et, plus important encore, de photographies prises par Gustave Lechat et Armand Dandoy,¹⁵⁸ qui représentent le projet dans son contexte, il est possible de déterminer la quantité de pierre bleue ornant le bâtiment. Comme mentionné précédemment, le bâtiment est principalement constitué de pierre bleue sur ses façades orientées vers la rue et le passage latéral, où se trouve l'entrée principale¹⁵⁹.

Ainsi, en examinant les élévations graphiquement représentées et fournies par le G.A.R, il est possible d'estimer la quantité de pierre utilisée sur l'ensemble de ce bâtiment. En prenant en compte que les ouvertures du rez-de-chaussée des deux façades sont identiques, de même que celles des deux niveaux supérieurs, l'analyse du gisement commence par la somme de la volumétrie totale de la structure des façades en pierres et des ornements, à laquelle la surface de chaque ouverture est soustraite. Cependant, afin de permettre une marge d'erreur, la façade non visible sur les documents graphiques sera calculée seulement au niveau du rez-de-chaussée. Le porche en saillie n'est pas inclus dans le calcul car il n'y a pas d'informations précises sur sa superficie d'origine, étant donné qu'il a été ajouté après l'achèvement des documents graphiques, en dehors de la zone de construction initiale. Enfin, étant donné que l'organisation spatiale des murs intérieurs n'est pas garantie d'être la même entre les documents graphiques fournis et la réalité, ceux-ci ne seront pas pris en considération, même s'il s'agit sans doute d'une grande quantité de matière.

¹⁵⁷ *Idem*

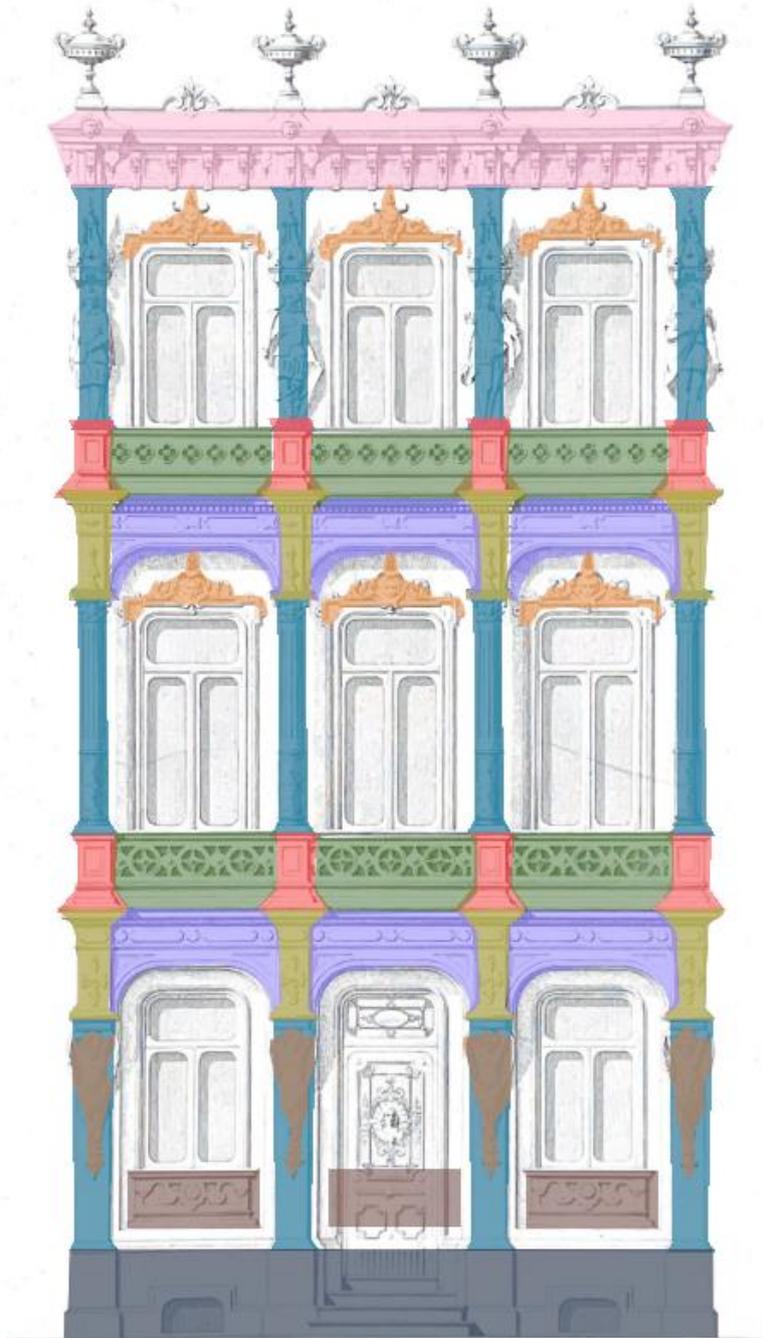
¹⁵⁸ Liège, Centre d'ARchives et de Documentation de la C.R.M.S.F., fonds de la Ville de Liège, iconothèque, dossier "rue Louvrex"

¹⁵⁹ « Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles ». (2020). C.R.M.S.F. Liège. T. 33. 152 pages. ISBN : 978-2-9601866-5-9

Bilan matière - Façades de la Maison aux cariatides

	Type	Niveaux	Parties	Quantité	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume (m³)	Total (m³)
Façade rue									117,2
	Structure				10,8	0,5	20	108	108
<i>A déduire</i>	Ouverture	RDC		3	/	/	/	2,3	6,9
		R+1		3	/	/	/	5,8	17,4
		R+2		3	/	/	/	2,3	6,9
	Ornementation	RDC	Soubassement		10,8	0,5	1,6	5,1	5,1
			Seuil d'ouverture	3	2	0,3	1	0,6	1,8
			Cariatide	4	/	/	/	0,3	1,2
			Colonne	4	/	/	/	0,54	2,16
			Sur colonne	4	/	/	/	0,46	1,84
			Entre niveaux (arc)	3	/	/	/	1,54	4,62
		R+1	Pied de colonne	4	0,4	0,65	1	0,25	1
			Balcon	3	2,9	0,3	1	0,87	2,61
			Colonne	4	/	/	/	1,35	5,4
			Détails linteau	3	/	/	/	0,25	0,75
			Sur colonne	4	/	/	/	0,46	1,84
			Entre niveaux (arc)	3	/	/	/	1,54	4,62
		R+2	Pied de colonne	4	0,4	0,65	1	0,25	1
			Balcon	3	2,9	0,3	1	0,87	2,61
			Détails linteau	3	/	/	/	0,25	0,75
			Corbeaux	16	/	/	/	0,02	0,32
			Ornement sous corniche		10,8	0,3	0,56	1,81	1,81
			Corniche		10,8	0,3	0,3	0,97	0,97
Façade latéral (entrée RDC)									77,46
	Structure				21,7	0,5	7,14	77,46	77,46
								TOTAL	194,66

Répartition de l'ornementation - Façade rue



MURVILLE GUYARD
Par A. Courmeaux, 1847

Légende

- Soubassement
- Colonne
- Seuil d'ouverture
- Cariatide
- Sur colonne
- Entre niveaux (arc)
- Pied de colonne
- Balcon
- Détails linteau
- Toiture

3.2.6 Analyse du bâtiment aujourd'hui

Actuellement, la Maison aux Cariatides a disparu du paysage architectural. Bien que ce projet ait été décrit comme possédant la "*façade liégeoise la plus typique et originale du 19e siècle*" dans un article de Bouvy Coupery de Saint-Georges-Neys¹⁶⁰, elle a été entièrement démolie pour céder la place à un immeuble d'appartements¹⁶¹. En effet, le projet de réintégration de la façade a finalement été abandonné, et les éléments architecturaux n'ont pas été réutilisés conformément à leur objectif initial. Sans connaître la raison précise, l'architecte-restaurateur de la Ville de Liège, Jean Francotte, n'a pas suivi la principale directive consistant à réintégrer la façade dans un nouveau lieu dans un délai de trois à cinq ans¹⁶².

Ainsi, comme mentionné précédemment, divers fragments architecturaux ont été conservés sur le site de l'Institut Saint-Luc, anciennement situé également dans la Rue Louvrex, en raison de sa capacité à les accueillir compte tenu de la taille du site qui est considérable. Ces éléments sont disposés indépendamment les uns des autres, étant donné qu'il s'agit de grandes découpes, certaines pouvant inclure des éléments sculptés¹⁶³. Parmi les fragments conservés, on retrouve plusieurs éléments d'ornementation tels que les atlantes, les cariatides, les colonnes, les dais, les linteaux.

L'objectif de la Faculté était de pouvoir évacuer ces éléments architecturaux en les intégrant dans un circuit de réemploi, ce qui permettrait de libérer de l'espace sur le site tout en offrant une seconde vie à ces matériaux¹⁶⁴. Cependant, dernièrement, les pierres derrière le bâtiment B9 ont été amenés par une entreprise de démolition et l'objectif n'a finalement pas pu être concrétisé. Ce qui signifie qu'il ne sera pas possible de retenir ces fragments dans le cadre de cette étude.

Cette analyse permet de comparer le potentiel de réemploi possible des différents morceaux dans leur état existant. Par l'approche historique, il est possible de situer les éléments architecturaux et de comparer la quantité volumétrique préservée et celle perdue.

En comparant les deux gisements, il est évident qu'il y a eu une perte considérable des pierres provenant de leur lieu d'origine. En effet, il ne reste que 10 % des pierres originales de la Maison aux Cariatides. Ce bâtiment servira donc de cas d'étude pour l'introduction d'une filière de réemploi, afin de préserver les pierres restantes, actuellement sur le site de Saint-Luc. L'objectif est de leur redonner un rôle dans la construction, conformément à leur fonction d'origine, et d'éviter ainsi leur disparition totale.

¹⁶⁰ Bouvy Coupery de Sainte Georges-Neys, M-L.. (1999). « A la gloire des bulldozers ». *Maisons d'Hier et d'Aujourd'hui*. N°121. 4 pages (pp. 36-39).

¹⁶¹ Echange avec Simon Higny, Architecte de l'Institut Saint-Luc. 29 septembre 2023.

¹⁶² Merland, M.. (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». *Bulletin de l'Institut archéologique liégeois*. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

¹⁶³ « Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles ». (2020). C.R.M.S.F. Liège. T. 33. 152 pages. ISBN : 978-2-9601866-5-9

¹⁶⁴ Echange avec Simon Higny, Architecte de l'Institut Saint-Luc. 29 septembre 2023

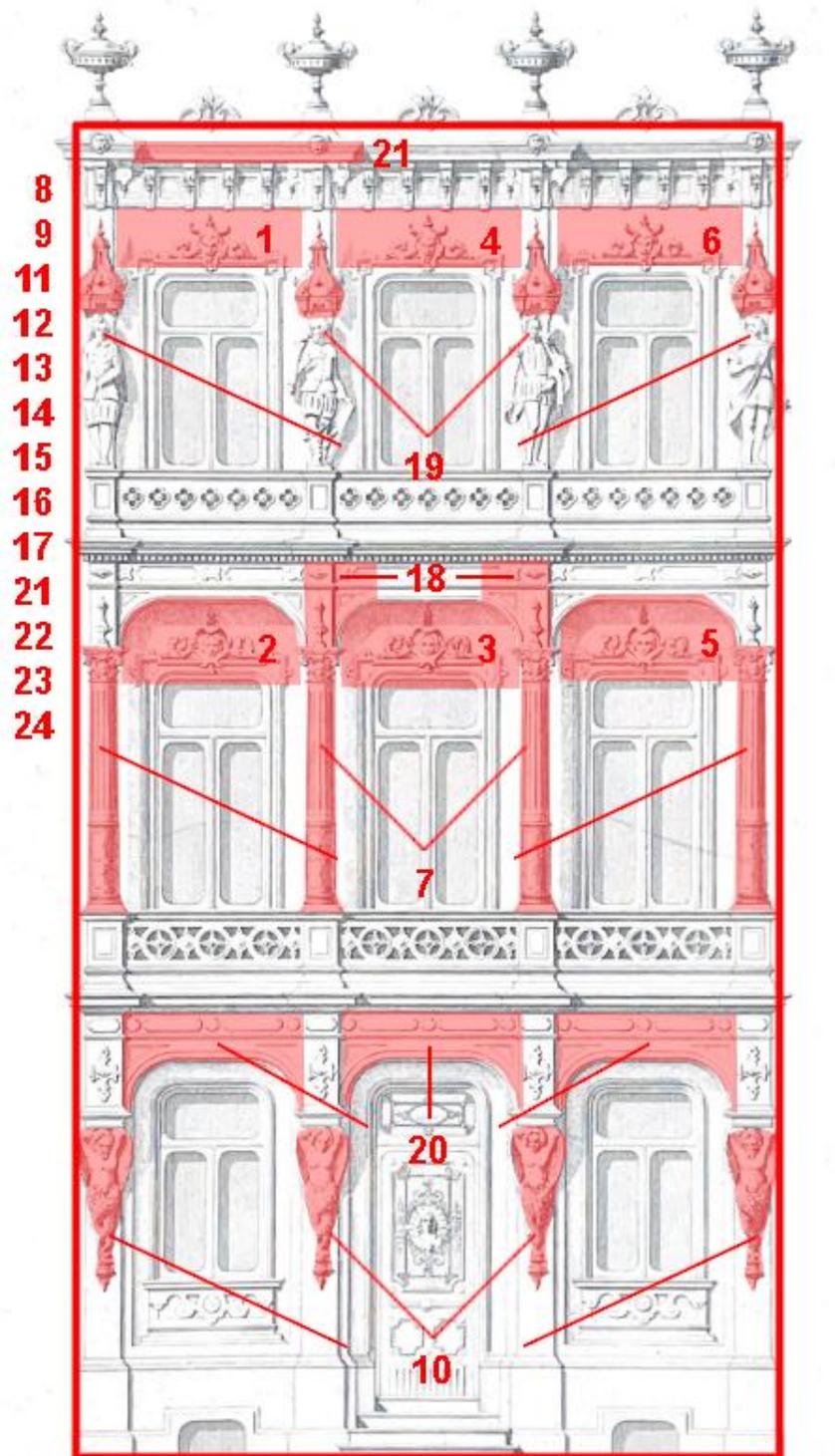
Bilan matière retrouvée sur le site de Saint-Luc - Façades de la Maison aux cariatides

Numéro	Quantité	Photos	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Volume (m ³)	Total (m ³)
1	1		2,67	0,3	1	0,8	0,8
2	1		2,2	0,3	1,1	0,72	0,72
3	1		2,75	0,3	1,2	0,99	0,99
4	1		2,8	0,3	1	0,84	0,84
5	1		2,8	0,3	1,2	1	1
6	1		2,8	0,3	1,1	0,92	0,92
7	4		/	Diamètre : 0,3	2,5	0,72	2,88
8	1		1,5	0,26	0,23	0,01	0,01

9	4		1,17	0,42	0,56	0,27	1,08
10	Socle 4		1,6	0,42	0,58	0,39	1,56
	Cariatide 4		/	/	/	0,3	1,2
11	3		3,45	0,6	0,3	0,62	1,86
12	1		2,32	0,35	0,3	0,24	0,24
13	1		2,95	0,28	0,16	0,13	0,13
14	1		2,32	0,3	0,2	0,14	0,14
15	1		2,3	0,3	0,3	0,2	0,2
16	1		2,8	0,27	0,2	0,15	0,15
17	1		1,85	0,3	0,2	0,1	0,1

18	2		/	/	/	0,47	0,94
19	Bloc 4 Ornement (vase) 4		0,5	0,31	0,66	0,1	0,4
			/	/	/	0,01	0,04
20	3		/	/	/	1	3
21	1		2,8	0,2	0,2	0,1	0,1
22	4		1,25	0,55	0,3	0,2	0,8
23	1		1,35	0,55	0,3	0,2	0,2
24	1		1,5	0,55	0,3	0,24	0,24
						TOTAL	20,54

Répartition de l'ornementation retrouvée dans la cour de Saint-Luc - Façade rue



MUSEUM DE LYON
 Par A. GARNIER, 1864

3.2.7 Comparaison d'autres projets avec le cas d'étude

Après une explication détaillée du cas d'étude, des recherches approfondies ont été menées dans le centre de Liège pour comparer l'utilisation de matériaux dans la région. La carte de « l'âge du bâti liégeois »¹⁶⁵ s'est avérée être un outil précieux pour présélectionner des zones de comparaison, confirmant la conservation historique des bâtiments datant du début XIXe siècle jusque milieu XXe siècle. Six zones ont été identifiées, incluant la Rue Saint-Léonard, la Rue Louvrex, trois rues de la Place des Congrès (Rue George Siméon, Rue du Parlement et Rue Théodore Schwamman), le Rue du Moulin, la Rue Lairesse et la Rue sous l'eau.

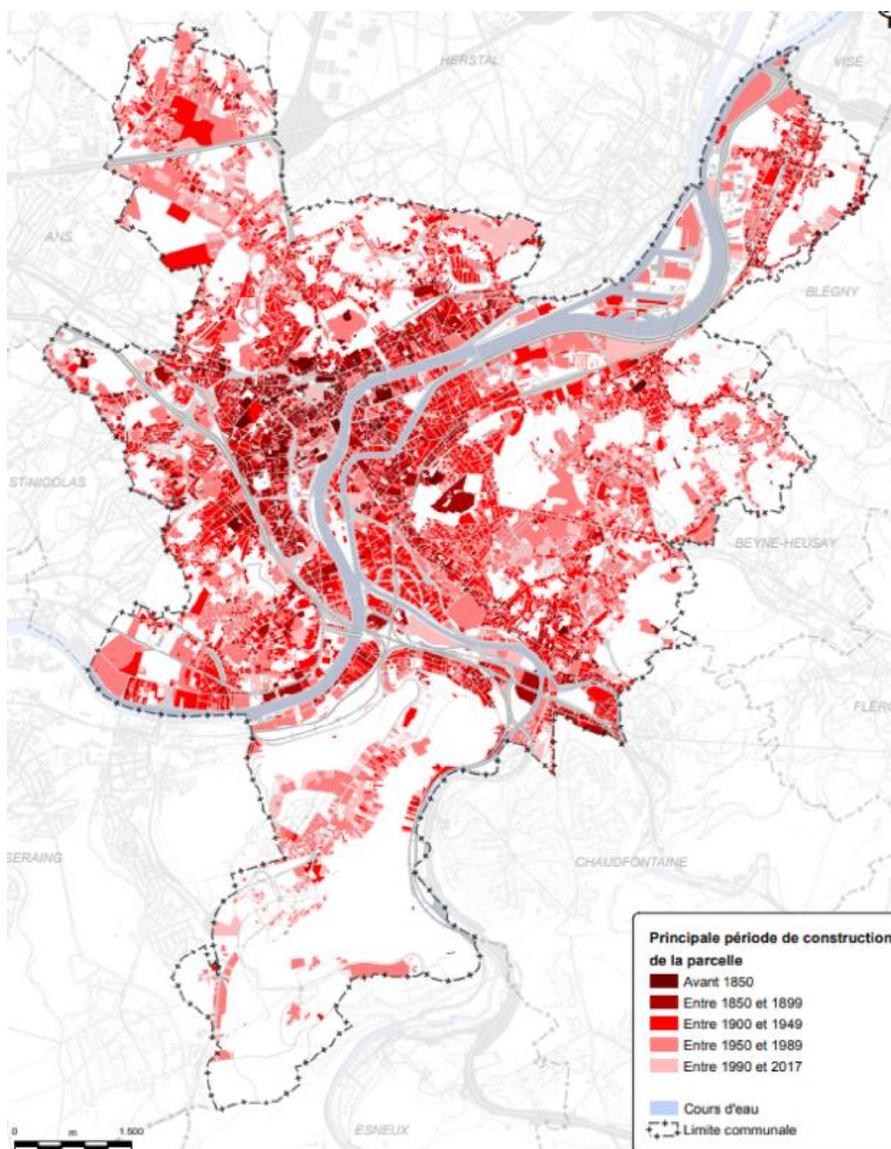


Figure 59 : « Cartographie de l'âge du bâti à Liège ». Source : « Age du bâti », (2015). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communales/services-urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/age-du-bati> (Consulté le 22 juillet 2024)

¹⁶⁵ « Age du bâti ». (2015). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communales/services-urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/age-du-bati> (Consulté le 22 juillet 2024).

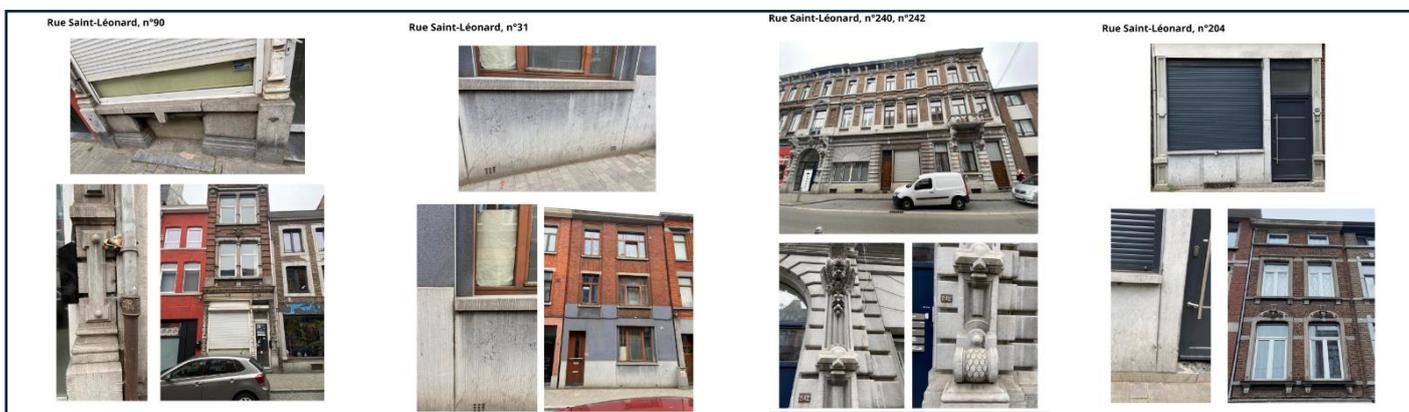
Des investigations photographiques et historiques préliminaires ont donc été entreprises sur ces rues afin de documenter les habitations et de comparer les matériaux utilisés dans leur construction. La pierre bleue, omniprésente dans les constructions civiles liégeoises avant le XIXe siècle¹⁶⁶, est largement observée dans les bâtiments photographiés, tant dans les soubassements que dans les façades.

Dès lors, on remarque que les maisons résidentielles modestes n'utilisent souvent la pierre bleue que dans leurs soubassements, protégeant contre l'humidité ascensionnelle et des éclaboussures¹⁶⁷, car le prix du matériau est élevé. Les soubassements de ces bâtiments se caractérisent généralement par des tonalités foncées et une façade lisse, dépourvue de détails spécifiques. On peut toutefois retrouver parfois des moulures et des sculptures sur ces soubassements, et même parfois sur l'ensemble du rez-de-chaussée.

D'une autre part, les maisons de maître affichent une utilisation plus variée que ce soit pour des éléments décoratifs, l'ornementation des balcons, les appuis de fenêtres et les encadrements. Cependant, les façades entièrement en pierre bleue sont rares, laissant place à des bâtiments combinant ce matériau avec d'autres plus économiques tels que la brique, le béton, le bois ou encore les moellons.

Analyse iconographique : Bâtiments des rues de Liège (début XIXe – milieu XXe siècle)

Rue Saint-Léonard



¹⁶⁶ Département de l'Urbanisme de la Ville de Liège, Service de l'Aménagement., (2016). « Les éléments décoratifs des façades : Guide des bonnes pratiques ». Ville de Liège. Liège. 44 pages. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communaux/urbanisme/telechargements/guide-elements-decoratifs-facade.pdf> (Consulté le 24 juillet 2024).

¹⁶⁷ « Pierres naturelles ». (1997). Buildwise. Note d'info. Technique N°205. 144 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20205.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

Rue George Siméon



Rue du Moulin



Rue Lairesse



Rue sous l'eau



3.3 Extrapolation des données à l'échelle du territoire wallon

Pour véritablement comprendre l'impact de la pierre bleue sur l'architecture belge, il est primordial de prendre du recul et d'adopter une perspective plus large. Cette approche permet de saisir la diversité des applications de ce matériau dans le paysage urbain et architectural. Le choix matériel des enveloppes des bâtiments utilisés durant le développement urbain de la Wallonie seront expliqués afin de permettre de comprendre la position de la pierre dans l'approche constructive. Ensuite, une catégorisation par type d'application et, par conséquent, une hiérarchisation par degré d'importance seront également effectués.

L'objectif est de s'imprégner des données disponibles afin de les extrapoler et de déterminer si la pierre bleue suit toujours la même trajectoire dans les approches contemporaines tant paysagères qu'architecturales.

Il s'agit comme souligne le titre, d'une extrapolation de données. Suivant les informations et les recherches, il est possible de déduire en général la propagation de ce matériau sur l'ensemble du secteur wallon.

Comme évoqué précédemment, la Wallonie occupe une place de premier plan dans l'industrie extractive, exploitant les pierres bleues et d'autres types de pierres depuis de nombreuses années à travers ses carrières, pour une multitude d'utilisations. Ces ressources contribuent de manière significative au fonctionnement de l'économie wallonne¹⁶⁸.

On peut remarquer que les bâtis wallons datant d'avant 1945 sont principalement constitués en briques de terres cuites (72%). La pierre a joué quant à elle un rôle important d'ornementation pour toute typologie d'infrastructures et se place en deuxième position (11%), devant le crépi ou l'enduit (8%), le béton (7%) et le bois (1%), beaucoup plus modernes dans l'approche constructive¹⁶⁹. De plus, l'étude « *Chapitre 4 : Analyse du bâti* »¹⁷⁰, d'où proviennent ces statistiques, informent de l'importance structurel qu'avait ces matériaux, ne jouant pas seulement le rôle de parement de façade.

Mais les façades ne sont généralement pas composées d'un seul matériau. En effet, alors que la brique joue un rôle prépondérant dans la construction, les façades sont souvent ornées d'autres matérialités, dont principalement les pierres calcaires telle que la pierre bleue belge¹⁷¹. Ces pierres sont parfois discrètes, ou parfois omniprésente, comme pour la Maison aux Cariatides. Comme expliqué dans la partie

¹⁶⁸ Yans, J., (2019). « Parties 4 : Expériences de développement minier durable en Europe francophone ». Point repère. 17 pages (pp. 113-129). En ligne : <https://geopolis.brussels/wp-content/uploads/2019/06/Gestion-durable-des-ressources-min%C3%A9rales-en-Wallonie-Belgique-singularit%C3%A9s-et-pistes-de-r%C3%A9flexion-YANS-Johan.pdf> (Consulté le 15 mars 2024).

¹⁶⁹ « Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovationenergetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024)

¹⁷⁰ Idem

¹⁷¹ Idem

comparative d'autres maisons liégeoises, il est possible qu'en fonction de la typologie de bâti, la pierre est moins présente ou non.

Tout d'abord, il est possible de retrouver de la pierre bleue en soubassement. Comme pour Liège, la Wallonie présente une grande quantité de logement avec des soubassements en pierre et en pierre bleue.

D'une autre part, on peut également retrouver grâce à l'architecture traditionnelle de la Wallonie, un style de Renaissance mosane, laissant apparaître de la pierre calcaire en encadrement d'ouvertures. Cette approche constructive est omniprésente en Wallonie, permettant de soutenir et de décorer les ouvertures¹⁷².

Ensuite, il est possible de ne pas se limiter à l'enveloppe du bâtiment mais également s'intéresser à l'occupation intérieure de la pierre bleue belge. Comme le souligne Benoit Misonne, chaque habitant possède au sein de son habitation en moyenne 1m³ de pierre bleue¹⁷³. Même s'il s'agit d'une moyenne qui varie en fonction de la typologie de l'habitation, ce chiffre démontre l'omniprésence et l'importance de la pierre bleue belge dans les constructions wallonnes. En effet, si l'on se réfère au rapport chiffré du Centre d'Etudes en Habitat Durable de Wallonie sur l'année 2021¹⁷⁴, on retrouvait plus de 1,6 millions de ménages, ce qui signifie qu'il est possible de retrouver cette même quantité de pierre bleue sur l'ensemble du territoire wallon. De plus, allant dans une architecture d'intérieur, il était possible d'obtenir des variations de finitions tout comme aujourd'hui¹⁷⁵. Que ce soit à l'entrée sur le sol ou en tablette sur des surfaces, il est possible de retrouver cette pierre de multiples façons. Cependant, même si elle s'est propagée un peu partout en Wallonie, ces trouvailles historiques et d'origines sont plus rares que pour les autres utilisations, coûtant davantage d'argent.

Il est également possible et de manière majoritaire par rapport aux autres applications, de retrouver de la pierre bleue sur les espaces terrasses et de façon général sur la voie publique. En effet, tout comme autrefois, la pierre bleue a pu garder son affinité avec l'espace public. Son utilisation dans les projets d'aménagement urbain durable démontre sa pertinence et son succès continu¹⁷⁶.

¹⁷² *Idem*

¹⁷³ *Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.*

¹⁷⁴ « Chiffres clés du logement en Wallonie ». (2021). Wallonie logement CEHD. 226 pages. En ligne :

<https://www.cehd.be/media/1304/rapport-chiffres-cl%C3%A9s-2021-final.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

¹⁷⁵ Guerrier Dubarle, D., Marchi, C., (2014). « La maison et la pierre ». Pierres & Marbres Wallonie. 41 pages. En ligne :

https://www.pierresetmarbres.be/wp-content/uploads/2021/02/pm1305_broch_maison_fr1.pdf (Consulté le 20 mars 2024).

¹⁷⁶ Guerrier Dubarle, D., Marchi, C., (2011). « Les carnets de la Pierre : La pierre et l'espace public ». Pierres & Marbres Wallonie. N°7. 20 pages. En ligne : https://www.pierresetmarbres.be/wp-content/uploads/2021/02/pm1002_ml09_c07_ville_sols_fr1.pdf (Consulté le 20 mars 2024).

3.4 Conclusion : gisement existant dans le parc bâti et enjeux

Cependant, alors que ces données fournissent une meilleure compréhension du sujet, l'exploitation actuelle des ressources minérales soulève de nombreuses interrogations quant à l'avenir de cette industrie. En effet, bien que les gisements actuels de pierre bleue produisent une grande variété de produits, le marché de la construction ne suit plus le rythme. Alors que les rues de Liège sont munies d'infrastructures en pierre bleue datant de périodes anciennes¹⁷⁷, les nouvelles constructions privilégient des matériaux plus contemporains¹⁷⁸. De plus, tandis que l'on insiste sur la nécessité de réduire la construction neuve au profit de la rénovation ou de la reconversion, les techniques modernes sont préférées, reléguant malheureusement la pierre bleue à un statut secondaire. Ainsi, le patrimoine local constitué de ce matériau est souvent perçu comme archaïque, ne s'inscrivant pas dans l'époque actuelle.

C'est pourquoi la production continue et soutenue de pierre bleue issue des carrières devient de moins en moins compatible avec les exigences des constructions contemporaines en Wallonie. Un exemple frappant est celui de la Maison aux cariatides, une des principales richesses architecturales wallonnes dont la façade est entièrement constituée de cette pierre calcaire, jouant également un rôle structurel. Toutefois, il est devenu plus rare de voir ce type de matériau sur une grande partie des façades aujourd'hui. Cette situation génère une contradiction avec l'aspect polyvalent de la pierre bleue belge. Ce décalage se ressent à travers tout le territoire wallon, figeant dans le temps les bâtiments en pierre bleue sans pour autant les adapter aux évolutions des techniques architecturales modernes¹⁷⁹.

Il est impératif de poursuivre les recherches visant à assurer une gestion durable de la pierre bleue dans l'aménagement du territoire. L'étude menée par Edouard Poty en 2001, dont l'objectif était d'établir un inventaire des carrières en Région wallonne et d'évaluer les perspectives du secteur en prenant en compte les contraintes d'un aménagement du territoire durable¹⁸⁰, doit être tenu comme exemple dans la mise en application et l'amélioration du développement socio-économique actuel.

¹⁷⁷ « Feuille de route. Pour une rénovation durable, ambitieuse et efficace des copropriétés ». (2021). Interreg. 80 pages. En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/247671/1/190317-306_ACE_retrofitting_masterplan_4-version_4000dpi.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

¹⁷⁸ Orgilles, C., (2020). « Le modernisme en architecture, une table rase ? ». Université de Liège. Promoteur : Le Coguiéc, E., Rouelle, A. 231 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2268.2/9826> (Consulté le 20 mars 2024).

¹⁷⁹ Idem

¹⁸⁰ Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages.

3.5 Analyse du gisement actuel de la Pierre Bleue Belge

Il est pertinent d'examiner le cycle de vie ainsi que l'étude du gisement de la pierre bleue belge dans une perspective contemporaine axée sur le réemploi du matériau. Cela permet de recueillir des données quantitatives essentielles pour réduire les émissions énergétiques. En comprenant les enjeux réels de l'exploitation actuelle de la pierre bleue, il devient possible d'envisager un modèle économique reposant sur le réemploi du matériau. Toutefois, il ne s'agit pas de remettre en question la production actuelle de pierre bleue, qui fait partie de l'histoire de l'industrialisation belge. L'objectif est plutôt de résoudre les problèmes environnementaux en favorisant un nouveau modèle économique axé sur le réemploi, ce qui permettrait de réduire l'exploitation à long terme, tout en valorisant les pierres historiques appartenant au patrimoine local.

Depuis son processus d'extraction initiale jusqu'à sa fin de vie, la pierre bleue parcourt diverses étapes. Ces étapes impliquent une transformation et un façonnage approfondi pour être ultérieurement utilisés en tant que matériaux de construction. Ainsi, afin de mieux comprendre sa provenance et sa conception, une étude du cycle de vie des pierres ornementales a été envisagée en 2006 par Benoit Misonne¹⁸¹, sur base de la norme ISO14040. Durant la présentation de son analyse de cycle de vie, Misonne met en avant l'intérêt de cet outil du développement durable. Il explique que cet outil a permis de réaliser un diagnostic environnemental, de sensibiliser la perspective du management environnemental, et de permettre une éco-conception afin d'améliorer la performance des produits. Cette première analyse a permis un 'audit interne' de la production, conduisant à des améliorations notamment en efficacité énergétique. Elle a également permis de positionner le matériau dans un contexte de verdunisation des chantiers de construction, prouvant, par des chiffres concrets, ce que le bon sens admet sans verser dans le greenwashing¹⁸². L'analyse s'est effectuée sur la mise en œuvre de 1000m² de pavés patrimoniaux en pierre bleue des Carrières de la Pierre Bleue Belge à Bruxelles avec des formats de 15x15x15cm et 22x11x8cm¹⁸³.

Cette partie reprendra ainsi cette analyse avec d'autres sources théoriques afin d'offrir une compréhension précise des différentes étapes. L'objectif est d'effectuer une analyse approfondie de l'exploitation des sols et des processus d'extraction, pour proposer ensuite des solutions pour une exploitation plus respectueuse de l'environnement, conciliant ainsi développement industriel et préservation de la planète.

¹⁸¹ Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

¹⁸² Villard, C., (2023). « Enjeux d'adoption de l'Analyse en Cycle de Vie (ACV) en phase de conception en agence d'architecture : Analyse à l'échelle nationale et cas d'étude de l'agence B2ai architects ». Université de Liège. Promoteur : De Boissieu, A., Reiter, S. 181 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2268.2/17862> (Consulté le 24 juin 2024).

¹⁸³ « ACV & FDES : Feed-back après 8 années d'expérience » (2017). Pierre Bleue Belge. PowerPoint. 37 pages.

Analyse du Cycle de vie

Exemple du 'Pavé patrimoine'

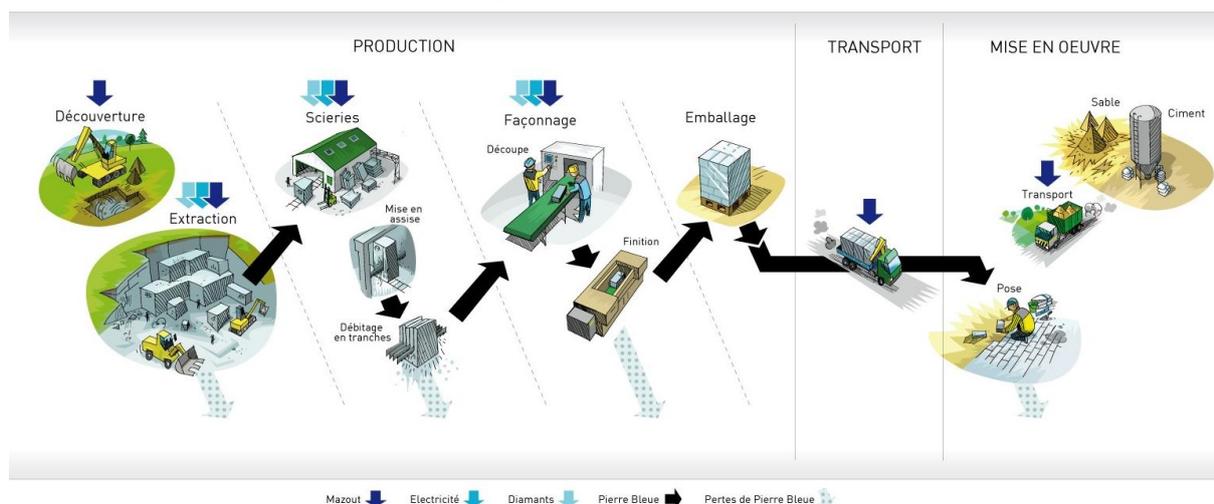


Figure 60 : « Analyse du Cycle de vie du « Pavé patrimoine » ». Source : Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

Ensuite, pour faire le bilan matière et donc l'étude quantitative des gisements, les carrières de la Pierre Bleue Belge seront prises comme exemple d'analyse afin d'obtenir des informations concrètes. C'est ainsi que Benoit Misonne a fourni des détails sur la production, la vente et le stockage de la pierre bleue en carrière, ainsi que sur les déchets générés. Ces données permettront de comprendre l'importance de la pierre bleue sur le marché, en tenant compte des formats, des finitions, des usages et des prix de vente. Ces informations proviennent d'une étude menée sur les trois carrières pendant une année d'exploitation (2022), dont le rapport a été rédigé en juin 2023¹⁸⁴. Pour des raisons de confidentialité, ces données vont être représentées à partir d'un chiffre initial d'extraction de 50 000m³ déterminé par mes soins. Celui-ci permettra, dans le cadre de cette étude, d'interpréter le bilan matière entre chaque étape sans partager les réelles données personnelles des carrières.

3.5.1 La découverte

La première étape de la production de pierre bleue consiste à mettre au jour le sol, préalablement repéré grâce à une analyse préétablie, révélant ainsi le gisement de Pierre Bleue Belge. Après le retrait de la terre arable sur une profondeur inférieure à 50 centimètres, celle-ci est stockée ou réutilisée sur site. Ensuite, les terrains meubles sont prélevés jusqu'à une hauteur de 15 mètres, comprenant une variété de matériaux (limon, silt argileux, argile verte, sables gris verdâtres, et cailloutis de silex dans l'argile noire) récupérés par des entreprises externes pour maximiser leur valorisation. Les sols rocheux et argileux non appropriés à devenir des pierres ornementales sont extraits pour former une couche de "râches" d'une épaisseur de 50 mètres, puis sont subdivisés en bancs pour faciliter son abattage, par forage et minage. Les roches sont

¹⁸⁴ Misonne, B., (2023). « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel

finalement transportées vers des usines de concassage par des pelles chargeuses et des dumpers, situées sur le site des carrières.

Sur base de ces informations et des informations en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge sur l'année 2022, voici le bilan matière :

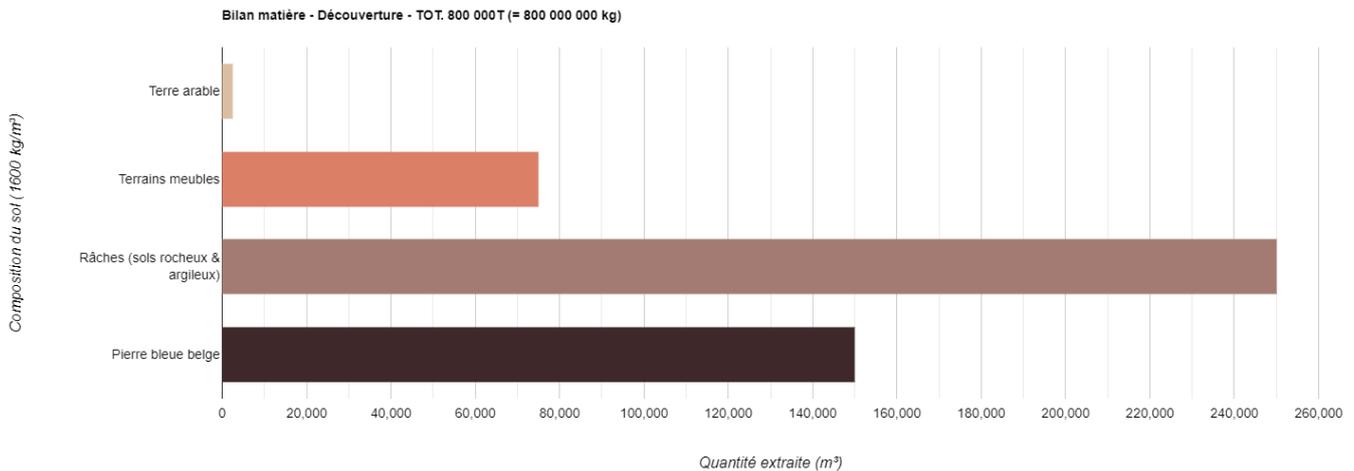


Figure 61 : « Bilan matière durant l'étape de découverte selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2022 ». Source : Natan Burton

3.5.2 Extraction

La carrière de la Pierre Bleue Belge de Clypot sert d'exemple significatif, ayant fait l'objet d'une étude spécifique sur l'extraction de pierres bleues, ce qui a permis de récolter des informations précieuses. Cette étude, intitulée « *Exemples d'utilisation des techniques avancées pour optimiser l'exploitation du gisement aux Carrières du Clypot* »¹⁸⁵, offre un éclairage pertinent sur les pratiques dans ce domaine.

À Clypot, comme pour les autres carrières, la pierre bleue est extraite sous la couche de "râches" sur une épaisseur de 32 mètres, divisée en niveau d'exploitation appelés buffets. Ces bancs présentent des joints stylolithiques formés par les compressions dans le massif. L'extraction est principalement réalisée par des machines à découpe appelées haveuses, des sortes de tronçonneuses dont les bras mesurent 4 à 7 mètres¹⁸⁶, qui découpent les blocs de pierre remontés par des chargeuses sur pneus à l'intérieur de la carrière. Une méthode plus ancienne, mais toujours utilisée, est celle de la machine à fil diamanté, qui découpe la roche par abrasion après avoir délimité le buffet et réalisé des traits perpendiculaires au front et au banc¹⁸⁷.

¹⁸⁵ Dagrain, F., Grégoire, C., Kheffi, A., et al. (2003). « Exemples d'utilisation des techniques avancées pour améliorer l'exploitation du gisement aux Carrières du Clypot ». Carrières du Clypot, Université Catholique de Louvain, Faculté Polytechnique de Mons. 10 pages. En ligne : https://www.researchgate.net/publication/269691268_Exemples_d'utilisation_des_techniques_avancees_pour_ameliorer_l'exploitation_du_gisement_aux_Carrieres_du_Clypot#fullTextFileContent (Consulté le 20 juin 2024).

¹⁸⁶ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

¹⁸⁷ Idem



Figure 62 : « Schéma représentatif de l'extraction et du travail de la roche ». Source : « Notre métier ». (n.d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

Cette phase représente l'étape de production la plus importante, mesurée en mètres cubes, avec un format en blocs. Un processus de tri est appliqué à cette catégorie de blocs, avec une récupération initiale de 40 à 60 % parmi les blocs extraits. Même si cela est significatif, près de la moitié des blocs extraits ne conviennent pas au façonnage de la pierre bleue, ce qui constitue un défi majeur pour l'efficacité de l'extraction.

Pour tenter de pallier cette problématique, les *Carrières de la Pierre Bleue Belge* collaborent avec d'autres entreprises pour récupérer tous les déchets générés. Ainsi, les blocs impropres sont concassés ou deviennent des granulats.

Parmi toutes les pierres extraites qui ne sont pas des « déchets », près de la totalité (entre 90 et 100%) est acheminée vers la prochaine étape, tandis que le reste, qui est très peu, est entreposé et stocké sur une durée courte puisque chaque stockage ne reste pas longtemps.

Bilan matière - Extraction : pour 50 000m³

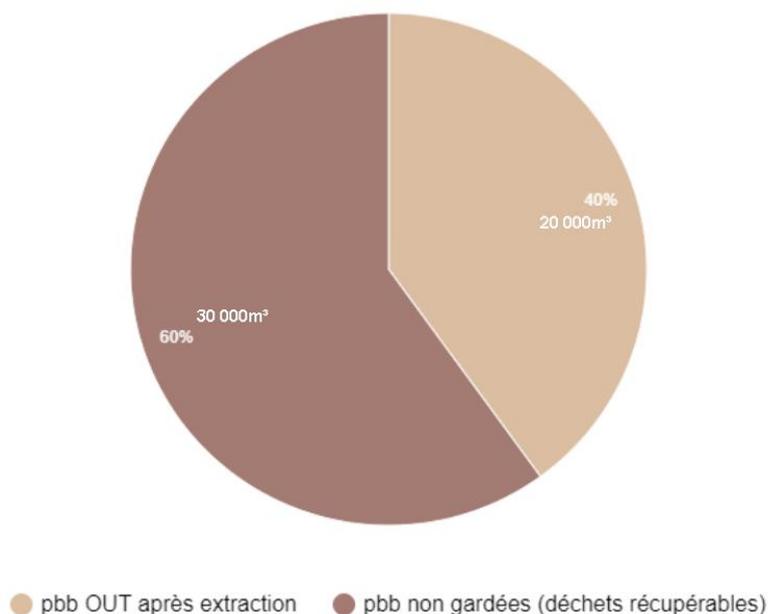


Figure 63 : « Bilan matière durant l'étape d'extraction selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

3.5.3 Equarrissage et Sciage

Après la première découpe, les pierres sont transportées vers l'usine de traitement¹⁸⁸. Avant le sciage, une étape cruciale de tri est réalisée, où les roches régulières sont destinées aux armures de sciage.

Une fois à la zone de sciage, les pierres sont sciées selon l'épaisseur souhaitée, soit par des armures de sciage, soit par un grand disque diamanté de 3,5 mètres de diamètre pour les blocs non réguliers. Les armures de sciage, équipées de scies à mouvement descendant et remontant. Des jets d'eau froide à haute pression sont dirigés vers les pierres pendant le sciage pour les nettoyer des dépôts et éviter la chauffe des outils¹⁸⁹.

Figure 64



Figure 65

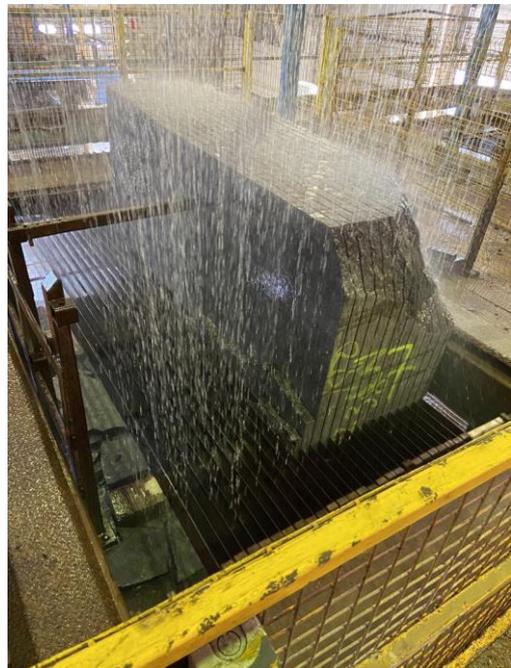


Figure 64 et 65 : « Photographies des outils des outils de sciage depuis la carrière de Clypot ». Source : Natan Burton

Après la récupération, les arêtes des blocs nécessitent d'être rendues conformes. Cette étape, appelée équarrissage, entraîne une perte limitée de 5 %, principalement due à des aspects esthétiques qui ne s'appliquent pas à toutes les surfaces.

Comme pour l'extraction et les étapes suivantes, les déchets sont récupérés et réutilisés. Une information supplémentaire émerge à partir de cette étape : des clients peuvent intervenir dès ce stade, achetant des produits "bruts" pour divers usages comme des murets ou des éléments de sculptures. Cela représente environ 5 % des blocs traités par équarrissage qui ne sont pas considérés comme des déchets.

L'ensemble des pierres soumises à l'équarrissage, qui ne sont ni des déchets ni vendues, peut être acheminé vers la prochaine étape.

¹⁸⁸ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

¹⁸⁹ Idem

Bilan matière - Equarrissage : pour 20 000m³

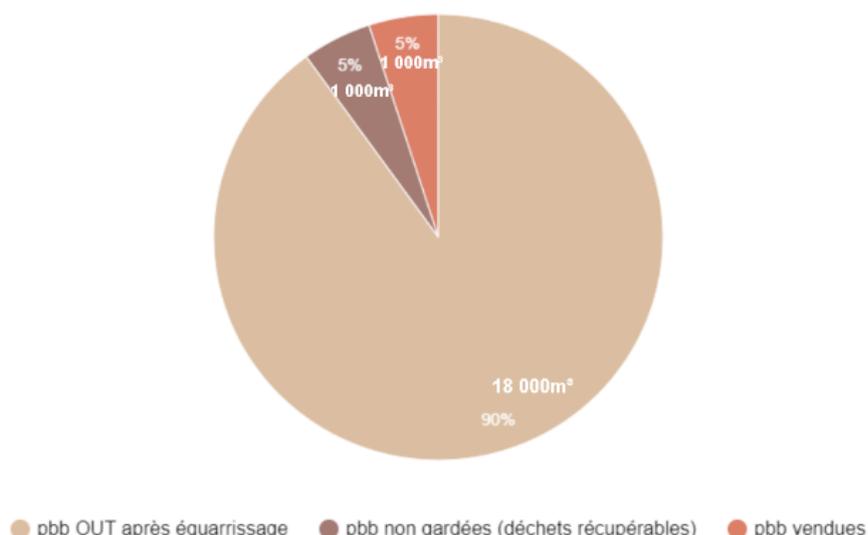


Figure 66 : « Bilan matière durant l'étape d'équarrissage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

À la suite de l'équarrissage, la pierre bleue passe par le sciage où elle sera découpée en tranches d'épaisseurs variables. Toutefois, une perte significative persiste, atteignant près de 15 %, car le sciage permet d'écarter les parties de la pierre présentant des fissures, des veines et des tâches de noirceur.

Bien que le marché intervienne déjà lors de l'étape précédente, un grand intérêt est observé pour des formats différents en raison de l'aspect naturel de la pierre bleue, qui attire une vaste clientèle. Ainsi, 60 % de la quantité récoltée et triée sera vendue.

Bilan matière - Sciage : pour 18 000m³

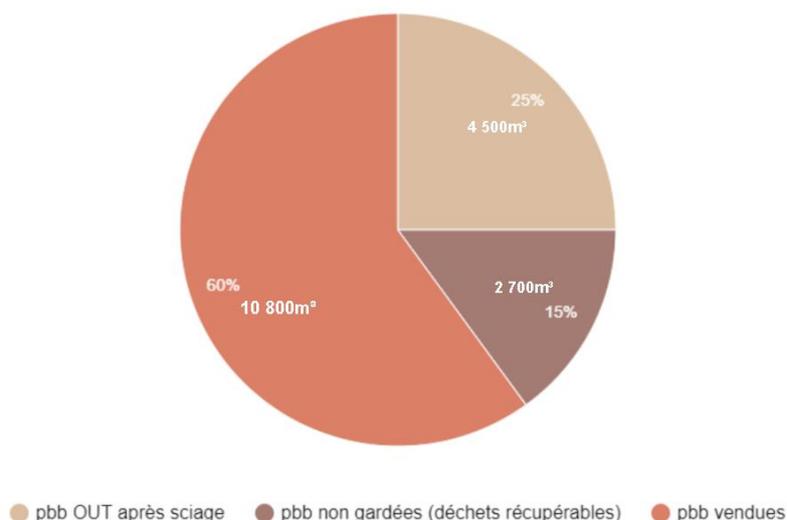


Figure 67 : « Bilan matière durant l'étape de sciage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Parmi l'ensemble des pierres soumises au sciage, qui ne sont ni des déchets ni vendues, une proportion de 40 % sera stockée et ensuite destinée à la vente, 10 % ira au surfaçage, et 50 % passera à la phase de débitage.

Bilan matière - Répartition de la matière après sciage (AS) : 4 500m³

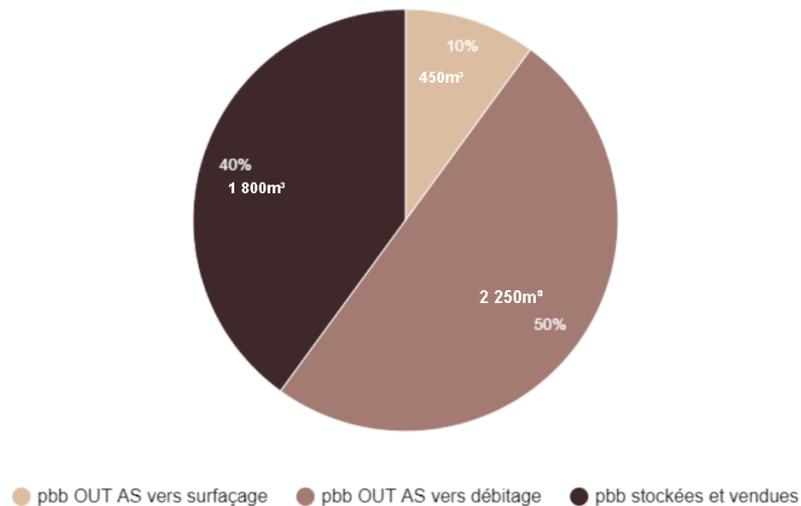


Figure 68 : « Répartition de la matière après l'étape de sciage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

3.5.4 Façonnage et finition

Le façonnage, dernière étape du processus de conception du produit, implique la détermination de sa fonction et de sa volumétrie définitive. Cette étape sera illustrée en référence au document NIT220 du Buildwise, élaboré en 2001¹⁹⁰.

Figure 69



Figure 70



Figure 71



Figure 69, 70 et 71 : « Techniques de façonnage de la pierre bleue ». Source : Natan Burton

¹⁹⁰ Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

L'étape de surfacage vise à traiter les surfaces par polissage ou lissage, éliminant ainsi les dernières imperfections de la pierre pour obtenir des produits presque finis¹⁹¹. Cette phase est réalisée sur le site de Neufvilles.

La phase de débitage marque la dernière étape du processus. Son but est de transformer les pierres semi-finies ou brutes en produits finis. Les pierres des carrières de Soignies et Neufvilles sont manipulées par la main-d'œuvre qui utilise différentes lames de débitage. Contrairement à la phase de surfacage, cette étape met en avant le travail manuel¹⁹².

Près de la moitié des pierres sciées passent par la phase de débitage et un peu plus de la moitié de celles-ci sont vendues directement pour diverses applications, qui seront expliquées dans la section suivante section. Le reste devient des déchets qui seront concassés puis récupérés.

Bilan matière - Débitage : pour 2 250m³

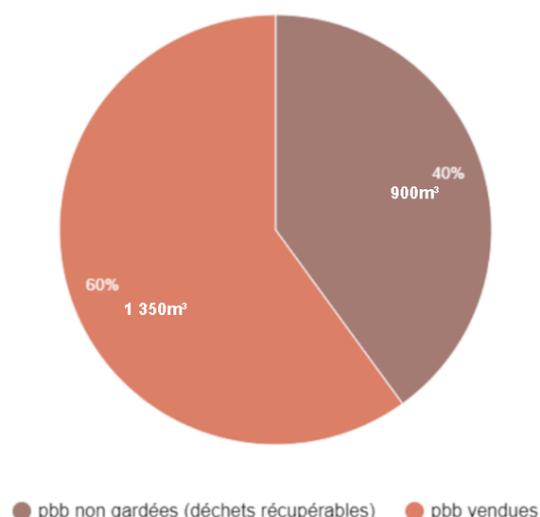


Figure 72 : « Bilan matière durant les étapes de surfacage et de débitage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Après ces phases de surfacage et de débitage, les produits atteignent leur stade final et peuvent répondre aux besoins de la clientèle en tant que produits finis. La Pierre Bleue Belge offre une proposition commerciale diversifiée de finitions, comprenant plus de 24 finitions aux teintes et aspects variés¹⁹³. Les pierres traitées présentent des couleurs variées, renforçant leur attrait esthétique. Outre cette valeur esthétique, la pierre bleue offre des qualités fonctionnelles grâce aux différentes finitions disponibles.

¹⁹¹ *Idem*

¹⁹² *Idem*

¹⁹³ « Nos Finitions et Textures ». (n. d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

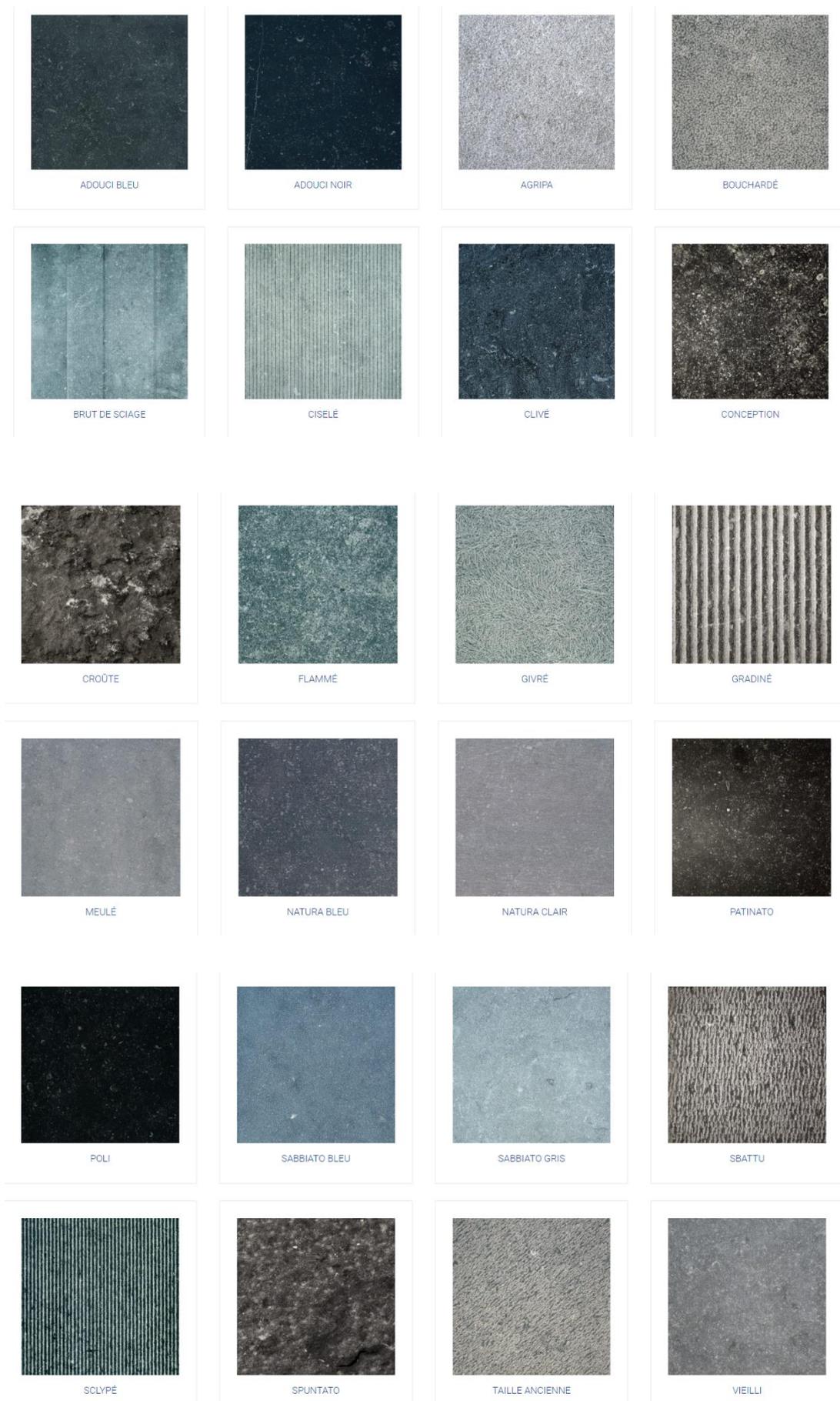


Figure 73 : « Les différentes gammes de finition et de texture des pierres bleues des carrières de la Pierre Bleue Belge ». Source : « Nos Finitions et Textures ». (n. d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

3.5.5 Emballage

Les produits sont enveloppés ensuite de plastique, puis recouverts de frigolites et de mousses pour amortir les chocs¹⁹⁴. Pour éviter tout contact avec le sol, plusieurs palettes en bois soutiennent l'ensemble des marchandises, et ces palettes sont réutilisables et cautionnées. En effet, les carrières de la Pierre Bleue Belge conservent les palettes et les renforcent pour les réutiliser¹⁹⁵.

	Bois	plastiques
recyclage	75,3 %	53,7 %
incinération	8 %	16,4 %
enfouissement technique	16,7 %	29,9 %

Figure 74 : « Gestion des déchets d'emballages des pavés patrimoine ». Source : Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

3.5.6 Transport et mise en œuvre

Cette phase revêt une importance cruciale, car c'est à partir de ce moment que les pierres, destinées à la vente, quittent leur lieu d'extraction pour être acheminées vers les sites où elles seront utilisées. En général, le transport s'effectue principalement par camions de 28 tonnes (75%) et camionnettes (25%)¹⁹⁶, tandis que les transports par voie ferroviaire ou maritime représentent moins de 1% du volume de transport total.¹⁹⁷ L'objectif principal est d'assurer la sécurité des matériaux lors de leur déplacement du point A au point B. Les pierres extraites sont acheminées vers des sites de traitement intermédiaire, s'il y a des utilisations spécifiques, ou directement vers les zones de vente. D'après les données recueillies dans le tableau traitant de la question des transports, généré pour la thèse de Sophie Trachte : « *Matériau, Matière d'Architecture Soutenable Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable* »¹⁹⁸, il est notable que ces pierres sont fournies à plus d'une centaine de revendeurs, dont 20% sont situés aux environs de Bruxelles.

En mettant en évidence le bilan matière des carrières extractives de pierres bleues, il apparaît clairement que ces processus engendrent des défis environnementaux. En effet, la production de pierre bleue nécessite une quantité considérable d'énergie tout

¹⁹⁴ Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

¹⁹⁵ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

¹⁹⁶ Trachte, S., (2012). « Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable. » Université catholique de Louvain, LOCI. Promoteur : De Herde, A. 398 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/112728> (Consulté le 18 mai 2024)

¹⁹⁷ Gueur, S., (2019). « Pierre Bleue Belge : Etude des émissions de CO2 ». Sense Engineering SPRL. 46 pages.

¹⁹⁸ Trachte, S., (2012). « Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable. » Université catholique de Louvain, LOCI. Promoteur : De Herde, A. 398 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/112728> (Consulté le 18 mai 2024)

au long des différentes étapes, ce qui contribue à accroître l'empreinte écologique de cette industrie. De plus, malgré les efforts déployés pour minimiser les pertes de matériaux et optimiser leur utilisation, plusieurs étapes du processus entraînent des pertes significatives. Cependant, la collaboration avec d'autres entreprises pour la récupération et la réutilisation des matériaux non conformes témoigne d'une tentative de réduction des déchets et d'une gestion plus responsable des ressources. Ce constat souligne l'importance cruciale d'une approche durable et économe en énergie dans l'exploitation des carrières de pierres bleues, tout en mettant en évidence la nécessité de poursuivre les efforts pour atténuer les impacts environnementaux de cette activité industrielle.

3.6 Consommation durant les étapes

En se basant sur la déclaration environnementale et sanitaire élaborée et fournie par les carrières de la Pierre Bleue en 2007, mise à jour en 2012,¹⁹⁹ cette section procédera à une analyse approfondie des flux de matières et d'énergie consommés au cours des différentes phases d'une carrière type. Cette approche permettra également de confronter les données, favorisant ainsi l'adoption d'un modèle moins énergivore, celui du réemploi, qui sera expliquée ultérieurement dans l'étude. Différents tableaux ont été constitués par catégories afin d'extraire les informations nécessaires pour l'analyse de la consommation d'énergie.

3.6.1 Consommation des ressources

Une distinction significative est observée entre la consommation de ressources naturelles énergétiques et non énergétiques. Les diverses étapes de la production de pierre bleue, telles que définies par les sections fournies dans l'analyse du cycle de vie, impliquent l'utilisation de divers matériaux nécessaires à la progression de l'extraction des carrières. Certains sont employés dans une production énergétique, que ce soit pour l'alimentation des machines (énergie procédé) ou qu'ils génèrent eux-mêmes de l'énergie par leur matérialité (énergie matière). Ainsi, la transmission d'énergie par le flux de matière détermine l'énergie primaire totale fournie pour la production de pierre bleue belge dans les sections 15x15x5cm et 22x11x8cm.

Sur l'énergie primaire totale estimée sur une période annuelle du cycle de vie d'une carrière type, il est à noter que les étapes de production consomment la majeure partie de l'énergie, que ce soit pour l'extraction, l'équarrissage, le sciage, le façonnage et les finitions. En effet, la consommation d'énergie produits par les ressources naturelles s'élève à environ 90% pour les deux formats, tandis que le transport ne représente presque rien. La mise en œuvre représente quant à elle les 10% restant. De plus, l'énergie utilisée dans les "procédés" est la plus exploitée, car elle alimente le fonctionnement des différentes machines, par gaz, électricité et pétrole, avec un taux

¹⁹⁹ Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

également de 90%. En outre, cette énergie primaire totale peut être renouvelable (20%), mais cela est plus rare, car la majorité est non renouvelable (80%). Comme illustré dans le tableau, l'électricité est produite en quasi-totalité durant la production des pierres bleues au cours de l'année, avec un coût de consommation relativement bas.

D'autres matériaux sont utilisés pour faciliter la production et la mise en œuvre en tant que matériaux de conception et de fabrication. Ce sont ces éléments fabriqués à partir de ces matériaux qui produiront ensuite de l'énergie à travers les différentes étapes de la pierre bleue belge. Ces différents matériaux sont mesurés en kilogrammes.

La gestion des ressources naturelles est régulée par les carrières de la Pierre Bleue Belge, qui appliquent une politique de zéro déchet. À l'intérieur de leurs carrières, d'autres entreprises (de cimentage, de granulométrie et de béton) récupèrent les différents "déchets" produits au cours des phases d'exploitation²⁰⁰.

	U.	Production		Transport		Mise en œuvre	Total cycle de vie par annuité		Total cycle de vie pour DVT	
		15x15x5	22x11x8	15x15x5	22x11x8	15x15x5 22x11x8	15x15x5	22x11x8	15x15x5	22x11x8
Consommation de ressources naturelles énergétiques										
Bois	kg	2.92E+01	4.35E+01			5.02E-02	2.92E+01	4.36E+01	2.92E+03	4.36E+03
Charbon	kg	1.15E+01	1.07E+01	5.15E-02	8.25E-02	3.42E+00	1.49E+01	1.42E+01	1.49E+03	1.42E+03
Lignite	kg									
Gaz naturel	kg	9.18E+00	8.87E+00	4.96E-02	7.93E-02	3.85E-01	9.61E+00	9.33E+00	9.61E+02	9.33E+02
Pétrole	kg	1.05E+01	1.57E+01	1.23E+00	1.97E+00	3.84E+00	1.56E+01	2.15E+01	1.56E+03	2.15E+03
Uranium (U)	kg	1.76E-03	1.53E-03			6.88E-05	1.83E-03	1.60E-03	1.83E-01	1.60E-01
Energie non-fossile non-spécifiée	MJ					1.14E+01	1.14E+01	1.14E+01	1.14E+03	1.14E+03
Indicateurs énergétiques										
Énergie Primaire Totale	MJ	2 427	2 775	60	95	302	2 789	3 172	279 000	317 000
Énergie Renouvelable	MJ	493	736	0	0	12	506	748	50 600	74 800
Énergie non Renouvelable	MJ	1 934	2 039	60	95	289	2 283	2 424	228 000	242 000
Énergie procédé	MJ	2 080	2 247	60	95	302	2 441	2 644	244 000	264 000
Énergie matière	MJ	348	528	0	0	0	348	528	34 700	52 800
Électricité	kWh	131	114	0	0	5	136	119	13 600	11 900

Figure 75 : « Consommation de ressources naturelles énergétiques et indicateurs énergétiques pour les sections : 15x15x5cm et 22x11x8cm ». Source : Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

3.6.2 Consommation des eaux

Au cours de la découverte d'une carrière, des eaux d'exhaures émergent. Ces eaux ne sont pas rejetées, mais plutôt valorisés grâce à la société wallonne des eaux (SWDE)²⁰¹, qui a développé un circuit fermé grâce à la création d'un bassin. Cette

²⁰⁰ Idem

²⁰¹ « A propos de la SWDE ». (n. d.). SWDE. En ligne : <https://www.swde.be/fr/propos-de-la-swde> (Consulté le 29 juillet 2024).

approche permet une gestion intégrale des eaux par une exploitation judicieuse²⁰². Pour permettre l'apport potable d'eau au sein des carrières, les eaux sont pompées via un puits périphérique pour limiter l'eau d'exhaure dans la carrière, puis dirigées vers un bassin de réserve au Clypot. De là, elles sont transportées par des conduites vers le centre de potabilisation de Neufvilles, où elles sont traitées pour devenir potables, éliminant le fer et le manganèse. Cela permet une efficacité dans le traitement des ressources car les Carrières de la Pierre Bleue Belge font surgir plus de 460 m³/j d'eaux d'exhaures.



Figure 76 : « Représentation du trajet des eaux d'exhaure pour une réutilisation dans la carrière du Clypot ». Source : « Valorisation de nos eaux d'exhaure » (n. d.), Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/valorisation-des-eaux-dexhaure-de-notre-site-du-clypot/> (Consulté le 18 juillet 2024).

En conclusion, l'analyse du bilan énergétique des étapes des carrières extractives de pierres bleues met en lumière la prédominance de la consommation énergétique dans les processus d'extraction et de traitement. Cette consommation, principalement alimentée par des sources non renouvelables, souligne les défis environnementaux associés à cette activité industrielle. Cependant, des mesures sont prises pour réguler la gestion des ressources naturelles, notamment par l'adoption de politiques de zéro déchet et l'optimisation de l'utilisation de l'eau. Il reste néanmoins des défis à relever pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire l'impact environnemental de manière significative. Cela nécessitera une collaboration continue entre les acteurs de l'industrie et une volonté collective de promouvoir des pratiques durables tout au long du cycle de vie des carrières extractives de pierres bleues.

²⁰² Idem

3.7 Aspects physiques des produits

3.7.1 Formats (toute vente)

La vente de la pierre bleue dépend étroitement de ses différentes applications, sa taille jouant un rôle déterminant dans le processus commercial. Dans l'industrie de la pierre bleue, et même l'industrie des matériaux de constructions en général, on retrouve généralement des formats de type standardisé afin de faciliter la production à grande échelle²⁰³. Toutefois, il est possible d'obtenir des formats spécifiques à la commande du client quand le traitement du matériau est possible.

Les gisements de pierre bleue en Belgique présentent des dimensions qui peuvent être retrouvées dans la fiche technique NIT220²⁰⁴, même si cela peut varier d'un site à l'autre. Cette fiche fournit des informations détaillées sur les limites surfaciques et linéaires à respecter pour garantir un conditionnement adéquat lors de la mise en œuvre.

		Dimensionnements		
Pierre ornementale		Longueur (m)	Largeur (m)	Epaisseur (m)
Produits bruts	Blocs bruts	1,5 à 4,5	0,7 à 2,5	0,3 à 2,5
Produits semi-finis	Tranches pour usage marbrier	1,5 à 4,4	0,7 à 2,0	0,02 à 0,05
	Tranches pour usage de construction			0,04 à 0,3
Produits finis	Dalles/revêtements de sol	0,30	0,15	0,02 à 0,03
			0,30	
		0,40	0,20	
			0,40	
		0,50	0,25	
			0,50	
		0,60	0,20	
			0,30	
			0,40	
			0,60	
Bandes de longueur libre	n.d	0,15		
		0,20		
		0,25		
		0,30		
		0,40		

Figure 77 : « Tableau représentatif des possibilités de dimensionnements standards de la pierre bleue selon son usage suivant le NIT 220 ». Source : Natan Burton.

3.7.2 Fonctions (produits finis)

Dans cette étape d'analyse, le point de vue multifonctionnel de la pierre bleue belge sera abordé, en examinant les pourcentages de ventes du matériau sous différentes formes pour répondre aux besoins fonctionnels actuels, d'après le fichier Excel fourni

²⁰³ Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024)

²⁰⁴ Idem

par les Carrières de la Pierre Bleue Belge²⁰⁵. Il est essentiel de noter que la multifonctionnalité de ces matériaux est confirmée, avec une utilisation prédominante en secteur public, notamment pour les voiries, les sols, et les bordures, car la pierre bleue belge est devenue moins fréquemment utilisée dans la construction.

Actuellement, la Pierre Bleue Belge ne commercialise que des produits finis sous quatre fonctions distinctes. La fonction la plus vendue est celle des dalles de sol, utilisées en revêtement intérieur ou extérieur, en pavés de voirie, ou même en plaquettes modulaires pour certains clients. C'est la fonction la plus répandue, représentant entre 60 et 70% des ventes de produits finis.

Ensuite, la vente de bordures, qui sont utilisées dans les voiries et les rues. Représentent généralement le reste des ventes de produits finis.

Cependant, les ventes de pierres bleues en moellons en tant que produits finis sont également possibles, bien que moins fréquentes en raison de leur coût plus élevé en raison de la grande densité de la pierre. Ces moellons sont utilisés en maçonnerie ou en pierre de taille, reprenant ainsi les fonctions historiques initiales de la pierre bleue belge.

Enfin, il est parfois possible de vendre des produits de pierre bleue selon un format particulier souhaité par le client. Cela ne représente quasi aucune valeur économique pour les carrières car ces commandes entraînent généralement des coûts plus élevés en raison de la déviation par rapport aux critères de standardisation dans le façonnage de la pierre bleue.

Ensemble des formats disponibles sur le marché pour des produits type finis : pour 4 860m³

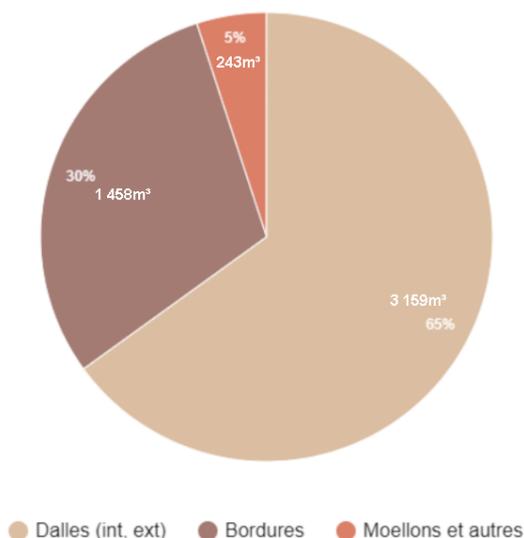


Figure 78 : « Bilan de vente de pierre bleue belge de type « fini » sur le marché selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Tableau de l'inventaire et % des revenus des Carrières de la Pierre Bleue Belge en 2022 » ». Source : Natan Burton

²⁰⁵ Misonne, B., (2023). « Tableau de l'inventaire et % des revenus des Carrières de la Pierre Bleue Belge en 2022 ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel.

3.8 Conclusion

Ce chapitre met en lumière une analyse approfondie du gisement actuel de la pierre et de ses applications. Cette étude quantitative détermine une composante essentielle du modèle économique en vigueur, qui concerne à la fois les carrières de Pierre Bleue Belge et d'autres carrières de manière générale. Elle permet ainsi de se positionner quant aux actions à entreprendre pour le développement de l'entreprise de pierres bleues à travers une nouvelle filière de réemploi. En effet, le nouveau modèle économique axé sur le réemploi s'appuiera largement sur le modèle existant.

De plus, cette analyse met en évidence les interventions nécessaires du point de vue environnemental. Bien que la consommation énergétique soit contrôlée, elle reste présente, soulignant ainsi la nécessité d'une approche proactive en matière de durabilité. Cette étude permet non seulement de mettre en lumière les points forts du gisement, mais également les points faibles qui devront être améliorés et évités par la filière de réemploi. La gestion des ressources est essentielle, car elle permet non seulement de réduire la consommation d'énergie, mais également de minimiser les pertes tout au long des différentes étapes d'exploitation de la pierre bleue belge.



Figure 79 : « Bilan matière sur l'ensemble des étapes d'exploitation de la pbb selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

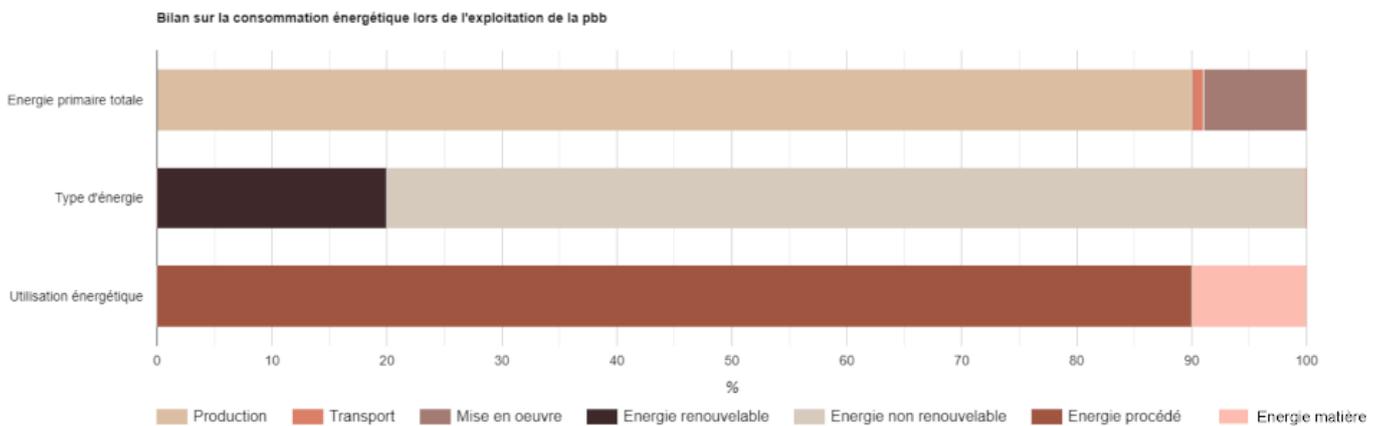


Figure 80 : « Bilan sur la consommation énergétique lors de l'exploitation de la pbb selon Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

Source : Natan Burton

En outre, s'ajoutent à cela des analyses à différentes échelles topographiques, se complétant et se précisant mutuellement. Tout d'abord, il est crucial de comprendre le territoire pour assurer un développement durable à long terme de la filière de réemploi, ainsi que pour appréhender l'importance et les possibilités d'utilisation des pierres dans les infrastructures, en se référant d'abord à l'histoire locale, puis régionale. Il est ainsi évident que la réintégration de cette pierre dans des utilisations traditionnelles est impérative sur le plan territorial pour garantir une pérennité constructive et locale, laissant ainsi une empreinte architecturale et patrimoniale plutôt qu'une volonté de construire basée sur l'innovation. D'autre part, le choix du cas d'étude est justifié par le récit historique qu'il offre. Cette approche microscopique offre une base concrète et un intérêt pratique pour l'application du modèle économique basé sur le réemploi. Il s'agit d'un cas particulier marquant l'ère de la construction belge en pierre calcaire.

4 CHAPITRE 03. APPROCHE LOGISTIQUE – DEFINITIONS ET DEVELOPPEMENT

4.1 Les enjeux de l'économie circulaire et du réemploi

Dans ce travail de fin d'études, l'attention se porte sur le réemploi de la pierre bleue en réponse aux défis contemporains. Bien que largement considéré comme une approche centrale dans la gestion des matériaux de construction pour une économie circulaire, il est crucial de noter que la conception de produits de réemploi à partir de matériaux existants est une entreprise complexe, présentant divers enjeux²⁰⁶.

La complexité du domaine de la construction et du bâtiment rend l'adoption de pratiques axées sur le réemploi particulièrement difficile. Les défis vont au-delà de la simple volonté de promouvoir la durabilité, car l'intégration efficace du réemploi de la pierre bleue dans ces contextes spécifiques demande un effort considérable²⁰⁷.

Il est essentiel de distinguer le réemploi in situ du réemploi ex situ. Le premier implique l'intégration directe des matériaux dans le projet à venir, tandis que le second nécessite un traitement plus poussé avant la vente des produits²⁰⁸. Bien que le réemploi in situ conserve intégralement l'infrastructure historique, il entraîne des coûts élevés en termes d'énergie pour la réintégration des matériaux. En revanche, le réemploi ex situ vise à obtenir un matériau neuf à partir de matériaux existants tout en conservant des propriétés similaires. L'objectif reste le même : donner une nouvelle vie aux produits²⁰⁹.

Cependant, plusieurs obstacles au réemploi sont observés et seront examinés plus en détail dans le cadre de cette recherche. Cette partie s'appuiera en partie sur le cahier des charges pour la priorisation des matériaux et des ouvrages qui y sont référés. Le document élaboré par le SPW en 2022, intitulé « Priorisation des matériaux de réemploi à intégrer dans le cahier des charges type bâtiments 2022 (CCTB 2022) et prescription de recommandations dans la perspective du réemploi et de la promotion de la construction/rénovation durable »²¹⁰, classe ces obstacles en quatre catégories : économiques, juridiques, environnementaux et techniques.

4.1.1 Enjeux économiques :

Le principal défi économique du réemploi des éléments de construction réside dans son coût global. Favoriser le réemploi in situ entraîne inévitablement des coûts

²⁰⁶ Seys, S., (2017). « Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction : un meilleur cadre pour le réemploi de produits, pas d'obligation de marquage CE et un système d'évaluation ad hoc ». BBSM. 97 pages. En ligne : <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf> (Consulté le 10 juin 2024).

²⁰⁷ Burre-Espagnou, M., Coppens, M., et al. (2016). « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction ». ADEME. 149 pages. En ligne : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27317-freins-leviers-reemploi-btp.pdf> (Consulté le 28 mars 2024).

²⁰⁸ Ghyoot, M., (2017). « Objectif réemploi : Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale ». BBSM. 70 pages. En ligne : https://rotor.db.org/sites/default/files/2019-10/OBJECTIF_REEMPLOI.pdf (Consulté le 15 mars 2024).

²⁰⁹ Idem

²¹⁰ « Priorisation des matériaux de réemploi à intégrer dans le cahier des charges type bâtiments 2022 (CCTB 2022) et prescription de recommandations dans la perspective du réemploi et de promotion de la construction/rénovation durable ». (2019). SPW. 68 pages. En ligne : https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2021-03/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL%20sans%20annexe-avec%20logo.pdf (Consulté le 6 juin 2024)

supérieurs à ceux de la construction traditionnelle, en raison des étapes logistiques telles que le tri, l'inspection, le nettoyage et la réparation éventuelle des matériaux récupérés²¹¹. Bien que ces procédures soient indispensables pour garantir la qualité, elles nécessitent, souvent, de la main-d'œuvre et du temps supplémentaires, entraînant ainsi des dépenses supplémentaires qui découragent les acteurs de l'industrie à s'engager pleinement dans des projets de réemploi.

Parallèlement, le marché du réemploi fait face à l'insuffisance d'installations spécialisées, entravant la collecte de matériaux réutilisables²¹². L'absence d'informations exhaustives sur les composants disponibles issus de déconstructions planifiées et en cours ajoute une dimension d'incertitude, compliquant la planification et l'exécution efficace de projets à grande échelle²¹³. Pour surmonter ces défis, il est impératif de développer des infrastructures de récupération et d'établir des bases de données centralisées sur les matériaux disponibles, facilitant ainsi la planification préalable.

En outre, la faible demande sur un marché peu développé constitue un obstacle majeur, soulevant des questions sur la viabilité économique du réemploi. L'adéquation entre l'offre et la demande, ainsi que la conformité aux aides financières, suscitent des interrogations sur la compétitivité à long terme des matériaux de réemploi²¹⁴.

Les défis financiers, tels que des marges bénéficiaires réduites dues à la main-d'œuvre coûteuse et aux démarches supplémentaires imposées aux architectes, exercent une pression financière significative²¹⁵.

Enfin, la concurrence avec les coûts de démolition classiques et les produits neufs souligne l'impératif de repenser les modèles économiques pour promouvoir le réemploi dans le secteur de la construction²¹⁶.

4.1.2 Enjeux sociaux d'usage (juridiques) :

Les exigences élevées en matière de documentation et de certification peuvent accroître la complexité administrative, décourageant les entreprises d'explorer des solutions de réutilisation²¹⁷.

Une réponse pertinente à ce défi pourrait impliquer l'élaboration de réglementations et d'outils adaptables à l'usage, claires et favorables au réemploi, reconnaissant sa

²¹¹ *Idem*

²¹² Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024).

²¹³ *Idem*

²¹⁴ Burre-Espagnou, M., Coppens, M., et al. (2016). « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction ». RDC Environment, éco BTP, I Care & Consult (pour le compte de l'ADEME). 149 pages. En ligne : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27317-freins-leviers-reemploi-btp.pdf> (Consulté le 28 mars 2024).

²¹⁵ « Stratégie réemploi des matériaux de construction : Encourager le réemploi des matériaux de construction en Région de Bruxelles Capitale ». (2015). Alliance Emploi Environnement. En ligne : https://economiecirculaire.wallonie.be/sites/default/files/documents/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL.pdf (Consulté le 20 janvier 2024).

²¹⁶ *Idem*

²¹⁷ Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024).

valeur en tant que pratique durable dans le secteur de la construction, comme tente de le faire Rotor depuis 2012 avec le projet Opalis²¹⁸.

Ensuite, la sensibilisation et la perception sociale du réemploi apparaissent comme des aspects à aborder, nécessitant un changement de regard et d'approche par les professionnels de l'industrie sur les avantages environnementaux et économiques du réemploi.

La mise en place de séminaires, de cours spécialisés peut contribuer à changer la perception négative persistante envers les matériaux de seconde main²¹⁹. De plus, l'incorporation de critères de réemploi dans les politiques de construction durable peut stimuler l'acceptation sociale et encourager l'adoption généralisée de ces pratiques²²⁰. L'intégration du réemploi dans les processus opérationnels standard représente un défi nécessitant une évolution des pratiques courantes, notamment sur les chantiers. La formation et la sensibilisation des travailleurs, l'organisation de la commande publique et privée, la gestion de l'entreposage sur site/hors site, ainsi que la gestion des relations jouent un rôle crucial dans la réussite des projets de travaux publics axés sur le réemploi²²¹.

La défiance des acteurs et les nuisances potentielles pour les riverains des chantiers exigent une approche prévoyante de la communication et de la gestion des impacts sociaux. La connotation négative du réemploi constitue un défi culturel majeur, soulignant la nécessité de changer les perceptions et de promouvoir les avantages écologiques et économiques du réemploi²²². En outre, le manque de visibilité des opérateurs existants dans le domaine du réemploi nécessite une sensibilisation accrue pour encourager la participation des acteurs du secteur²²³.

4.1.3 Enjeux environnementaux :

L'évaluation des impacts environnementaux revêt d'une importance majeure dans la considération du réemploi comme une alternative à la gestion traditionnelle des déchets et des ressources. Malgré la perception générale selon laquelle la réutilisation est une option écologique, son traitement ne l'est pas toujours, en particulier lorsqu'on considère l'ensemble du cycle de vie des matériaux et des produits²²⁴. Ainsi, la réalisation d'analyses de cycle de vie approfondies, englobant les différentes phases

²¹⁸ Gaspard, G., Ghyoot, M., Naval, S., (2022). « Maximiser la récupération des matériaux réutilisables ». Rotor, Brux. Envir. 16 pages. En ligne : https://opalis.eu/sites/default/files/2022-02/Rotor-en-Maximiser_la_recuperation-2022.pdf (Consulté le 27 mars 2024).

²¹⁹ Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024).

²²⁰ Idem

²²¹ Burre-Espagnou, M., Coppens, M., et al. (2016). « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction ». RDC Environnement, éco BTP, I Care & Consult (pour le compte de l'ADEME). 149 pages. En ligne : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27317-freins-leviers-reemploi-btp.pdf> (Consulté le 28 mars 2024).

²²² Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024)

²²³ « Stratégie réemploi des matériaux de construction : Encourager le réemploi des matériaux de construction en Région de Bruxelles Capitale ». (2015). Alliance Emploi Environnement. En ligne : https://economiecirculaire.wallonie.be/sites/default/files/documents/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL.pdf (Consulté le 20 janvier 2024).

²²⁴ Douguet, E., (Buildwise) Wagner, F., (CSTB) (2021). « FutuREuse - Les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 23 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15808/bookletfcrbefr-1_impact_environmental.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

de production, d'utilisation et de fin de vie des matériaux, se révèle essentielle pour orienter les décisions en faveur du réemploi²²⁵.

Le transport des composants constitue également un défi environnemental majeur²²⁶. Les émissions de gaz à effet de serre liées au transport et l'énergie pour faire circuler les matériaux de réemplois doivent être prises en considération. La localisation stratégique des centres de récupération et la promotion de réseaux de réutilisation locaux peuvent contribuer de manière significative à minimiser l'empreinte carbone du réemploi²²⁷. Dans cette perspective, la déclaration des performances environnementales et sanitaires des produits s'avère d'une grande utilité pour évaluer l'impact global du réemploi²²⁸.

Par ailleurs, les préoccupations environnementales englobent également des aspects spécifiques tels que la présence de substances dangereuses réglementées et la qualité de l'air intérieur, nécessitant une attention particulière²²⁹. Une approche intégrée, reposant sur des analyses détaillées et une prise en compte holistique des différentes facettes environnementales, est indispensable pour éclairer les choix en faveur du réemploi.

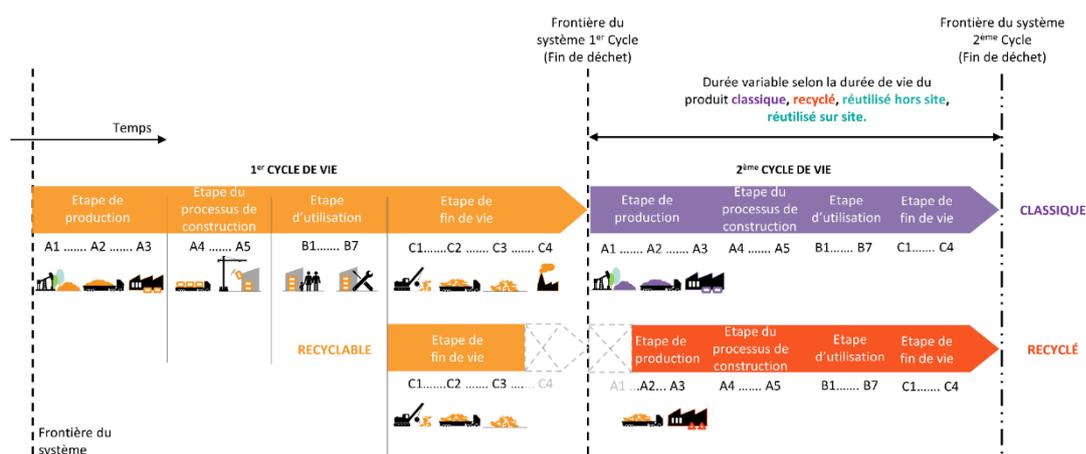


Figure 81 : « produits neufs, recyclés, recyclables, réutilisés, réutilisables : les impacts environnementaux ». Source : Douguet, E., (2023). « Recyclage des matériaux : une solution complémentaire au réemploi ». Brux. Envir. 91 pages. Fichier Powerpoint.

4.1.4 Enjeux logistiques et techniques :

Les défis technologiques associés au réemploi dans le domaine de la construction sont variés et englobent plusieurs aspects. Certains produits de construction actuels

²²⁵ Idem

²²⁶ Magnusson S., (2016). « Environmental Perspectives on Urban Material Stocks used in Construction – Granular Materials. ». Lulea University of Technology. 88 pages. En ligne : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1045893/FULLTEXT02> (Consulté le 27 mars 2024).

²²⁷ Bottani-Dechaud, L., Ghyoot, M., et al. (2023). « Faciliter la circulation des matériaux de réemploi : Retour sur 5 années de méthodes et d'expérimentations en Europe du Nord-Ouest. ». Interreg FCRBE. 51 pages. En ligne : https://vb.nveurope.eu/media/21450/fcrbe_final-report_vf.pdf (Consulté le 27 mars 2024).

²²⁸ Burre-Espagnou, M., Coppens, M., et al. (2016). « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction ». RDC Environment, éco BTP, I Care & Consult (pour le compte de l'ADEME). 149 pages. En ligne : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27317-freins-leviers-reemploi-btp.pdf> (Consulté le 28 mars 2024).

²²⁹ Idem

présentent une inadéquation fondamentale pour être démontés et réutilisés, soulevant des interrogations sur la compatibilité et la faisabilité. La conception d'un nouvel édifice à partir d'éléments existants requiert fréquemment des compétences techniques spécialisées, mettant en lumière la nécessité de programmes de formation et de sensibilisation destinés aux professionnels du secteur de la construction²³⁰.

La complexité des matériaux de structure représente un autre obstacle technologique majeur. La manière dont ces matériaux sont assemblés rend leur séparation à la fin de la durée de vie d'un bâtiment. Dans ce contexte, le développement de techniques de construction réversibles et la recherche de solutions de remplacement pour les matériaux difficiles à réutiliser peuvent ouvrir de nouvelles voies technologiques²³¹.

Parallèlement, la qualification et l'évaluation des performances techniques des éléments de réemploi posent un défi majeur²³². L'absence de normes uniformes et de critères clairs peut entraver la confiance dans la qualité des matériaux réutilisés. L'estimation délicate du potentiel de réemploi constitue un obstacle, nécessitant des outils d'évaluation plus précis²³³.

Le manque d'espaces de stockage pose également des défis logistiques majeurs, nécessitant des solutions créatives pour la gestion des matériaux récupérés²³⁴. L'absence de procédure standard de contrôle nécessite un développement rigoureux de normes pour garantir la qualité des éléments réutilisés²³⁵.

4.2 Utilisation et modification du Business Model en vue d'un nouveau modèle circulaire

Dans le secteur dynamique de la construction, l'utilisation des Business Models est omniprésente, permettant aux entreprises de structurer et d'optimiser leurs activités.

Ce chapitre explorera comment ces modèles sont mis en œuvre, sur base d'une explication des différents facteurs liés au Business Model type. De plus, en réponse aux pressions environnementales croissantes, plusieurs entreprises de construction adoptent déjà des approches novatrices pour améliorer l'impact environnemental de leurs matériaux, en s'inspirant des principes des 9R. Ces entreprises se basent

²³⁰ « Priorisation des matériaux de réemploi à intégrer dans le cahier des charges type bâtiments 2022 (CCTB 2022) et prescription de recommandations dans la perspective du réemploi et de promotion de la construction/rénovation durable ». (2019). SPW. 68 pages. En ligne : https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2021-03/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL%20sans%20annexe-avec%20logo.pdf (Consulté le 6 juin 2024)

²³¹ Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/luut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024).

²³² Nasserredine, M., (CSTB) Poncelet, F., (Buildwise) (2021). « FutuREuse - Evaluer la performance technique des matériaux de construction de réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15812/bookletfcrbefr2_evaluation_performances.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

²³³ Idem

²³⁴ « Priorisation des matériaux de réemploi à intégrer dans le cahier des charges type bâtiments 2022 (CCTB 2022) et prescription de recommandations dans la perspective du réemploi et de promotion de la construction/rénovation durable ». (2019). SPW. 68 pages. En ligne : https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2021-03/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL%20sans%20annexe-avec%20logo.pdf (Consulté le 6 juin 2024).

²³⁵ « Stratégie réemploi des matériaux de construction : Encourager le réemploi des matériaux de construction en Région de Bruxelles Capitale ». (2015). Alliance Emploi Environnement. En ligne : https://economiecirculaire.wallonie.be/sites/default/files/documents/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL.pdf (Consulté le 20 janvier 2024).

toujours sur des business models existants, qu'elles modifient ensuite en ciblant les maillons de la chaîne de valeur nécessitant des améliorations pour favoriser le réemploi et la circularité. À travers des études de cas, ce chapitre illustrera l'application de ces business models transformés, en examinant leurs stratégies et les objectifs qui mettent en lumière les pratiques contribuant à une industrie de la construction plus durable et respectueuse de l'environnement. Ces explications d'utilisation et ces exemples fourniront les informations permettant le développement d'une nouvelle filière de réemploi, et ainsi promouvoir la circularité de la pierre bleue belge.

4.2.1 Utilisation et fonctionnement d'un Business Model Canvas « type »

Le modèle économique « type » développé par Alexander Osterwalder est délibérément simple pour permettre une utilisation multiculturelle²³⁶. Il se présente sous la forme d'un poster de taille définie par l'utilisateur, offrant la possibilité d'ajouter des éléments, de dessiner et d'effacer²³⁷. Il s'agit ainsi d'un tableau permettant d'exprimer ses propres idées. Cependant, pour que le Business Model Canvas fonctionne efficacement, il est crucial de bien structurer les informations²³⁸. De plus, dans le cadre d'une recherche avancée, les décisions prises ne restent pas figées. C'est pourquoi on utilise généralement des post-its de trois couleurs différentes, standardisées le plus souvent, mais il est également possible de choisir ses propres couleurs.

Ces post-its peuvent être éphémères ou permanents, favorisant une évolution constante de la vision de l'entrepreneur. En se basant sur le cours enseigné par Benoit De Jonghe sur la gestion du management à la faculté d'architecture de Liège, voici les trois couleurs standards : le vert, le jaune et le rouge. La première couleur permet de voir positivement l'élément écrit, indiquant qu'il n'y a pas de remise en cause et que le post-it est simplement positionné là où il est. Ensuite, le post-it jaune signale une incertitude, nécessitant une vérification avant d'être accepté ou rejeté. Enfin, les post-its rouges indiquent un aspect négatif sur lequel il est certain qu'une modification ou une suppression sera nécessaire²³⁹.

L'objectif est donc de disposer des informations sur le tableau. Tout d'abord, l'intérêt est de définir la proposition de valeur, ce qui implique de choisir le produit à vendre ainsi que la valeur prônée par cette vente. Après avoir échangé avec Frédéric Ooms,

²³⁶ Osterwalder, A., Pigneur, Y., (2011). « *Business Model Nouvelle génération : Un guide pour visionnaires, révolutionnaires et challengers* ». Pearson. Paris. 288 pages. ISBN 978-2744064876

²³⁷ « *Le Business Model Canvas : un outil incontournable pour tout créateur* ». (n. d.). Bpifrance. En ligne : <https://bpifrance-creation.fr/moment-de-vie/business-model-canvas-outil-incontournable-createur> (Consulté le 16 juillet 2024).

²³⁸ Cortese, T., (2017). « *Atouts et freins des entrepreneurs seniors selon le Business Model Canvas* ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Cornuel, E., Lejeune, C. 249 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:12134> (Consulté le 25 juillet 2024).

²³⁹ De Jonghe, B., (2023). « *Cours de Gestion : Le management du projet de construction* ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

professeur en Management à l'HEC, on retrouve en tout huit cases réparties autour de la proposition de valeur et selon trois catégories²⁴⁰.

La première catégorie, située au-dessus à droite du tableau, est la "désirabilité". Il s'agit de comprendre qui sont les clients, les nouveaux clients, et de comprendre quels sont leurs besoins. Cette partie est centrée sur la clientèle et, par conséquent, sur la relation qui lie l'entrepreneur au client, ainsi que sur leurs moyens de communication. Dans la deuxième catégorie, on retrouve la partie "faisabilité", généralement exposée comme la partie ayant le plus d'informations à décrire. Il s'agit premièrement de définir les ressources clés, matérielles ou non, qui seront essentielles à l'exécution de ce modèle. Dans cette même partie, il faut également pouvoir décrire précisément les différentes étapes constituant la filière entrepreneuriale. Le dernier facteur de la "faisabilité" met en évidence les intervenants internes et externes de l'entreprise et le rôle qu'ils y jouent. Cela correspond à la répartition des charges de travail selon différents corps de métiers. Une anticipation adéquate est cruciale pour éviter des problèmes de coordination à un moment donné.

La dernière catégorie est principalement économique et se concentre sur la "viabilité". Séparée en deux, cette catégorie met d'une part en avant l'argent dépensé pour l'entreprise, que ce soit le paiement des intervenants, le paiement des ressources utilisées ainsi que les activités qui y sont liées, que ce soit pendant la fabrication et pendant la livraison. Enfin, l'argent récupéré est également à préciser afin de le comparer à celui dépensé. Cela permettra de déterminer si économiquement l'entreprise génère des bénéfices ou si elle est en faillite²⁴¹.

Les catégories exposées présentent les facteurs suivants, expliqués en détail.

Proposition de valeur « Désirabilité »

Lors de l'imagination et la conception d'un Business Model, et par conséquent de l'entreprise, il est important de déterminer la mission proposée aux clients ainsi que les valeurs prônées. Benoit De Jonghe, architecte et entrepreneur, explique dans son cours de « *Gestion du Management* » que la valeur répond à la satisfaction du client, l'incitant à acheter le produit²⁴². Le client se tourne vers une entreprise répondant à des problématiques précises grâce à une valeur positive, généralement ajoutée aux valeurs initiales, principalement due à l'innovation positionnant favorablement l'entreprise sur le marché économique.

Segment de clientèle « Désirabilité »

Une des questions principales est de savoir à qui offrir les services proposés. En effet, les efforts fournis doivent avoir un objectif, une mission, qui doit être répondu. Ainsi,

²⁴⁰ Entretien avec Frédéric Ooms, Professeur de management d'entreprise à l'HEC, 20 novembre 2023.

²⁴¹ Brown, T. (2008). « *Change by Design : How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation* » HarperBusiness. New York. 272 pages. ISBN 978-0061766084

²⁴² De Jonghe, B., (2023). « *Cours de Gestion : Le management du projet de construction* ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

l'objectif est de fidéliser la clientèle au produit mis sur le marché²⁴³. Une étude de marché doit être établie et également une analyse de l'ensemble du terrain afin de toucher un large public cible²⁴⁴. Cela permettra de définir les besoins et les attentes dans le marché destiné et ainsi, déjà améliorer et modifier le Business Model.

Canaux « Désirabilité »

L'étape suivante va servir d'attirer le plus de client possible. L'idée est donc de permettre une satisfaction auprès des clients à partir d'une communication qui informe sur cette solution et ce, à travers différents moyens. En effet, l'entreprise consomme et produit de l'information, que ce soit le savoir-faire ainsi que les indicateurs et les données sur le produit²⁴⁵. La communication sert de publicité propre au produit en mettant en avant ses caractéristiques favorables à l'achat, que ce soit par ses performances ou par sa valeur symbolique. Ces canaux permettent indirectement de mettre en évidence une comparaison avec la concurrence, car les consommateurs vont évaluer un produit en fonction de ce qu'ils voient par rapport au même produit de la concurrence²⁴⁶.

Relation avec le client « Désirabilité »

La continuité de ce Business Model Canvas suit une logique claire : il est impératif de maintenir une bonne relation avec les acheteurs. Par les objectifs et valeurs communes, les partenaires renforcent leur relation de travail. Même si la hiérarchie entre créateur et vendeur doit être établie, une certaine équité et des échanges d'avis sont essentiels pour maintenir une confiance et prolonger la collaboration²⁴⁷. Le choix de la relation appartient aux deux partis, pouvant aller d'une grande complicité, voir personnel, jusqu'à une relation médiocre, ne dépassant pas le cadre professionnel.

Activités clés « Faisabilité »

Les activités clés sont essentielles pour la structure et le fonctionnement d'une entreprise, représentant les principales actions visant à générer des revenus durables et à atteindre les objectifs à long terme. Elles englobent une gamme diversifiée de processus, allant des opérations quotidiennes telles que la production et la distribution, aux aspects stratégiques comme la gestion de la chaîne d'approvisionnement et le développement logiciel²⁴⁸. Leur pertinence réside dans leur capacité à soutenir la

²⁴³ Nardot, C., (2000). « Fidélisation des clients ». *Revue française de gestion*. 2 pages. En ligne : https://creg.ac-versailles.fr/IMG/pdf/la_fidelisation_des_clients.pdf (Consulté le 5 juillet 2024).

²⁴⁴ Carre, N., (2015). « L'étude de votre marché : vos clients et vos concurrents ». *CCI Entreprendre*. 30 pages. En ligne : https://dordogne.cci.fr/wp-content/uploads/2015/07/Cci.fr_2015_Page_Etude-de-votre-march%C3%A9.pdf (Consulté le 26 mars 2024).

²⁴⁵ Kempf, A., Utard, J-M., (1992). « Communication d'entreprise et publicité ». *Techniplus*. 22 pages. ISBN 2.85232.734.1

²⁴⁶ Combe, E., (2019). « Mieux comprendre les règles de la concurrence : Guide à destination des PME ». *Autorité de la concurrence*. 46 pages. En ligne : <https://www.autoritedelaconcurrence.fr/sites/default/files/2020-01/guide-pme.pdf> (Consulté le 15 juillet 2024).

²⁴⁷ Cusin, F., (2006). « Relations marchandes et esprit d'entreprise : la construction sociale de la confiance ». *Revue Interventions économiques*. En ligne : <https://doi.org/10.4000/interventionseconomiques.766> (Consulté le 25 mars 2024).

²⁴⁸ « Understanding and Developing Business Models in the Globalisation Era : Key activities ». (2021). *Pro BM 2*. 10 pages. En ligne : <https://probm2.cti.ugal.ro/site/wp-content/uploads/PDFs-EN/M-8-learn.pdf> (Consulté le 26 mars 2024).

proposition de valeur de l'entreprise et à répondre efficacement aux besoins des clients, permettant ainsi d'optimiser les ressources, d'améliorer l'efficacité opérationnelle et de renforcer l'avantage concurrentiel sur le marché²⁴⁹. En fin de compte, les activités clés constituent le fonctionnement et la rythmique de l'entreprise, déterminant sa capacité à innover, à s'adapter aux changements du marché et à prospérer dans un environnement commercial dynamique. Ainsi, leur compréhension et leur gestion appropriées sont cruciales pour garantir la viabilité et la croissance à long terme de toute organisation²⁵⁰.

Ressources clés « Faisabilité »

Diverses ressources seront mobilisées après avoir déterminé les activités clés afin d'assurer le bon déroulement de ces étapes. Diverses ressources englobent l'ensemble des outils et équipements utilisés dans le cadre des "activités clés", tout en tenant compte des compétences humaines et intellectuelles ainsi que des ressources financières. Cet ensemble constitue le socle essentiel au développement de l'entreprise, car l'absence d'un élément quelconque engendre des problèmes, compromettant la poursuite de l'exploitation des produits. L'intégralité des ressources représente les moyens dont une entreprise dispose pour croître et faire face à la concurrence²⁵¹.

Partenaires clés « Faisabilité »

Afin de rassembler l'ensemble des éléments nécessaires à la faisabilité d'une entreprise, plusieurs intervenants externes joueront également un rôle prépondérant. Les partenaires, en tant que représentants soutenant des entreprises aux intérêts convergents, jouent un rôle crucial dans le processus. Ce partenariat instaure un accord entre les parties, favorisant la concrétisation d'objectifs communs. De manière générale, un partenariat permet d'apporter des ressources supplémentaires. Par conséquent, une hiérarchisation des partenaires est envisageable, dans la mesure où chaque partenaire peut contribuer aux réalisations de l'entreprise. Lors d'un partenariat, différents rôles sont attribués, comme expliqué dans le « *Manuel du partenariat* » élaboré par l'association de l'Alliance mondiale pour l'amélioration de la nutrition (GAIN), le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD), Helen Keller International (HKI) et le Forum international des chefs d'entreprises (IBLF)²⁵².

²⁴⁹ *Idem*

²⁵⁰ *Idem*

²⁵¹ Penrose, E., (2009). « *The Theory of the Growth of the Firm* ». Oxford University Press. Oxford. 300 pages. ISBN 978-0199573844

²⁵² Tennyson, R., (2003). « *Manuel du Partenariat* ». GAIN, IBLF. 71 pages. En ligne : <https://www.thepartneringinitiative.org/wp-content/uploads/2014/07/Partnering-Toolbook-French.pdf> (Consulté le 15 mars 2024).

Structure des coûts « Viabilité »

Après avoir exposé la « faisabilité » qu'une entreprise devrait suivre, la prochaine étape consiste à structurer les dépenses. Il était impératif, au préalable, de détailler les ressources, les partenaires et les activités clés afin de procéder au calcul des coûts. Ces divers éléments nécessitent en effet l'établissement d'un budget qui doit être planifié avec précaution avant de permettre le fonctionnement optimal de l'entreprise. Un budget représente la composante chiffrée des décisions opérationnelles sur une année, tandis qu'un plan de financement, s'étalant sur trois à cinq ans, vise à assurer la mise en place des ressources nécessaires. L'objectif de cette estimation des coûts est que l'entreprise puisse, par la suite, réaliser des bénéfices. Le bloc des "flux de revenus" est ainsi interconnecté à cette section.

Flux de revenus et prix de revente « Viabilité »

Le flux de revenus représente les différentes sources de profits d'une entreprise, qu'il s'agisse de revenus récurrents, basés sur des transactions, de projet ou de services. Les stratégies de tarification comme l'économie, la pénétration, l'écrémage et le premium façonnent ces flux²⁵³. Les modèles de revenus, distincts des flux, définissent les cadres pour générer des revenus en précisant la valeur offerte, les prix et les parties payantes²⁵⁴. Les types de revenus incluent les revenus d'exploitation capturés par des mécanismes de tarification fixes ou dynamiques tels que la négociation, les enchères et la gestion des revenus. Ces concepts sont essentiels pour élaborer des stratégies commerciales efficaces, surtout dans les secteurs perturbés par les évolutions des modèles de revenus, comme l'économie numérique actuelle²⁵⁵.

4.2.2 Transition – D'un modèle économique linéaire vers un modèle économique circulaire

« La différence fondamentale entre un modèle d'affaires classique et un modèle d'affaires vert est qu'outre la valeur économique, ce dernier intègre la création et la distribution de valeurs environnementales et sociales. Le modèle d'affaires circulaire est fondé sur une approche de triple bilan et se construit sur l'interdépendance entre l'environnement, la société et l'économie »²⁵⁶.

Le modèle économique linéaire actuel, comme déjà mentionné, n'est plus viable. Il dégrade les écosystèmes, génère des gaspillages énormes, pose des risques

²⁵³ « Understanding and Developing Business Models in the Globalisation Era : Revenues Stream ». (2021). Pro BM 2. 17 pages. En ligne : <https://probm2.cti.uqal.ro/site/wp-content/uploads/PDFs-EN/Module-6-2-Theoretical-background.pdf> (Consulté le 26 mars 2024).

²⁵⁴ Idem

²⁵⁵ Idem

²⁵⁶ Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». The Switchers Support Programme. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MATI%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

d'approvisionnement et cause une pollution persistante²⁵⁷. C'est dans ce contexte que le modèle économique circulaire est devenu une priorité politique²⁵⁸.

A l'échelle mondiale, l'économie circulaire ne représente que 9% des activités économiques. Il est donc crucial d'adopter des changements radicaux et urgents²⁵⁹. Les entreprises existantes et les nouvelles start-ups doivent se développer en intégrant l'éco-innovation pour relever les défis croissants²⁶⁰.

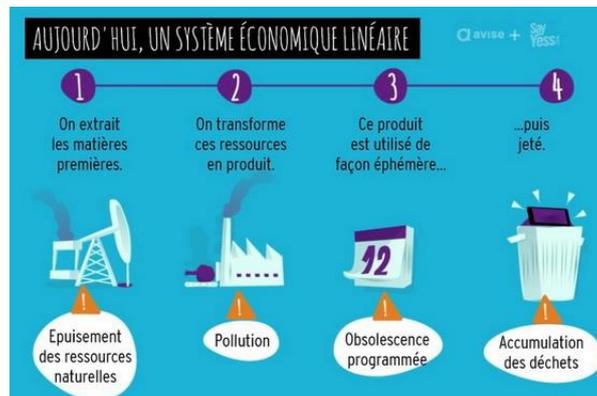


Figure 82 : « Modèle du système linéaire ». Source : « Economie circulaire : de quoi parle-t-on ? ». (2024). Avise. Say Yes. En ligne : <https://www.avise.org/economie-circulaire-de-quoi-parle-t> (Consulté le 24 juillet 2024).

Alors que l'éco-innovation se présente comme une solution pour transformer le modèle économique des entreprises vers une durabilité accrue. Il est essentiel de comprendre comment cette éco-innovation et la réflexion sur le cycle de vie se développent.

Tout d'abord, cette approche offre des solutions sous trois formes. Premièrement, elle permet de modifier les procédés de production, améliorant l'efficacité énergétique et développant des technologies adaptées. Deuxièmement, elle analyse les spécificités des produits afin de réduire la consommation d'énergie et de minimiser la pollution post-consommation. Enfin, elle examine les différentes parties du système, influençant ainsi le fonctionnement général de l'entreprise²⁶¹.

Il est donc nécessaire de réviser le modèle économique pour créer une complémentarité entre ces différents facteurs.

²⁵⁷ Benjilali, M., Zenasni, M., (2022). « L'économie circulaire et le business model classique des entreprises : quelle mutation ? ». *Revue internationale d'études économiques et de gestion*. Vol 2, N°1. 13 pages. (pp. 125-135). En ligne : <https://doi.org/10.5281/zenodo.6591809> (Consulté le 23 juillet 2024).

²⁵⁸ « Trajectoires économiques : 33 entreprises se mobilisent avec 100 engagements ». (2017). Afep. 104 pages. En ligne : https://www.afep.com/uploads/medias/documents/AFEP_100_Engagements_%C3%A9conomie_circulaire_33%20entreprises_1_2_2017.pdf (Consulté le 21 juillet 2024).

²⁵⁹ Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». *The Switchers Support Programme*. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MATI%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

²⁶⁰ Idem

²⁶¹ Idem



Figure 83 : « Trois formes d'éco-innovation ». Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». The Switchers Support Programme. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MATI%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

Pour ce faire, il est essentiel de structurer correctement la stratégie souhaitée. Le rapport d'Accenture, intitulé « Circular Advantage - Innovative Business Models and Technologies to Create Value in a World without Limits to Growth »²⁶², décrit cinq méthodes complémentaires pour passer à un modèle circulaire.

Premièrement, les approvisionnements circulaires exploitent les ressources renouvelables avec un minimum de pertes, tout en préservant la valeur environnementale et en produisant des biens de qualité équivalente à ceux d'origine. Deuxièmement, la récupération des ressources inexploitées vise à atteindre un bilan de zéro déchet à chaque étape. Ces ressources peuvent être utilisées dans la production énergétique ou la conception de produits.

Troisièmement, l'extension de la durée de vie des produits et des matériaux permet de récupérer, améliorer et remettre sur le marché les matériaux en fin de vie. Cela assure une exploitation continue des ressources et un avantage économique pour l'entreprise initiale.

Quatrièmement, il est crucial de promouvoir la circularité auprès des acteurs clés de l'entreprise. Un échange de connaissances et de compétences favorise de meilleures décisions concernant la mise en place de produits et de services. Pour cela, des plateformes de partage sont nécessaires.

Enfin, la collaboration avec le client est également possible. En émettant des conditions d'utilisation lors de la vente, l'entreprise reste propriétaire du bien. Le produit, devenu service, peut être récupéré, amélioré ou recyclé après utilisation, permettant une réutilisation continue.

Le concept des 9R²⁶³, mentionné dans la partie « cadre théorique », constitue une approche efficace pour répondre à ces enjeux et vérifier son applicabilité dans le

²⁶² « Nouveau business modèle pour l'économie circulaire ». (2018). Signify. 8 pages. En ligne : <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/signify/netherlands/20201113-nouveau-business-modeles-pour-economie-circulaire.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

²⁶³ Hanemaaijer, A., Hekkert, M., et al. (2017). « Circular economy : Measuring innovation in the product chain ». PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 46 pages. En ligne : <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf> (Consulté le 2 février 2024).

modèle économique circulaire, notamment dans le domaine de la construction. Cette analyse se concentre sur la circularité potentielle des matériaux et des produits en fin de vie.

On commence par vérifier si le produit peut être récupéré (Recover) et recyclé (Recycle). Ensuite, il est possible d'envisager son amélioration (Repurpose) par le remanufacturing (Remanufacture), le reconditionnement (Refurbish) ou la réparation (Repair). Cela permet de le réutiliser dans une nouvelle application (Reuse). Cette approche circulaire vise à minimiser les pertes (Reduce) en prolongeant la vie du produit plutôt que de l'abandonner (Refuse).

Circular economy		Strategies	
	Smarter product use and manufacture	R0 Refuse	Make product redundant by abandoning its function or by offering the same function with a radically different product
		R1 Rethink	Make product use more intensive (e.g. by sharing product)
		R2 Reduce	Increase efficiency in product manufacture or use by consuming fewer natural resources and materials
	Extend lifespan of product and its parts	R3 Reuse	Reuse by another consumer of discarded product which is still in good condition and fulfils its original function
		R4 Repair	Repair and maintenance of defective product so it can be used with its original function
		R5 Refurbish	Restore an old product and bring it up to date
		R6 Remanufacture	Use parts of discarded product in a new product with the same function
	Useful application of materials	R7 Repurpose	Use discarded product or its parts in a new product with a different function
		R8 Recycle	Process materials to obtain the same (high grade) or lower (low grade) quality
Linear economy		R9 Recover	Incineration of material with energy recovery

Figure 84 : « Comparative scheme between linear and circular economy ». Kirchherr, J., (2017). « Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions ». *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

4.2.3 Exemples d'application du Business Model fondé sur une économie circulaire dans le secteur de la construction

Bien que le chemin soit encore long et que de nombreux secteurs doivent s'adapter à cette nouvelle approche, un mouvement prometteur commence à émerger. En effet, indépendamment de leur taille, des entreprises de construction se mobilisent pour intégrer des pratiques circulaires, favorisant ainsi la réduction des déchets, la réutilisation des ressources et la création de valeurs durables.

Carbstone

Certaines entreprises, comme Carbstone, ont développé de nouveaux matériaux basés sur l'approvisionnement circulaire. Carbstone conçoit des blocs sans ciment qui permettent d'atteindre la neutralité carbone. En effet, ces blocs absorbent le CO₂, transformant ce gaz en un ingrédient essentiel. En associant le CO₂ avec les ressources naturelles composant le matériau initial et des scories d'acier réutilisables,

le mélange durcit pour former les blocs²⁶⁴. Ces derniers présentent des capacités et des applications identiques à celles des blocs traditionnels. Ce marché est en pleine expansion et vise à atteindre une neutralité carbone de 100% lors de la production, contre 15% actuellement²⁶⁵.



Biofib' isolation

Face aux demandes énergétiques croissantes des bâtiments, nécessitant des normes d'isolation plus élevées pour répondre aux enjeux environnementaux, les recherches de nouveaux isolants se multiplient²⁶⁶. L'objectif est de fournir des matériaux conformes aux normes, adaptables, réversibles et principalement écologiques²⁶⁷. C'est pourquoi l'entreprise Biofib' Isolation a conçu un produit local et circulaire en chanvre. Ce matériau, adapté à l'isolation thermique et acoustique, se présente sous forme de panneaux à haute densité. Le chanvre utilisé, cultivé localement en France, lutte efficacement contre l'humidité grâce à sa capacité de régulation hydrique. L'utilisation de matériaux végétaux permet de réduire l'effort énergétique, en évitant le recours à des outils fortement consommateurs d'énergie. Ainsi, Biofib' Isolation vise à la circularité et a obtenu diverses certifications et labels en reconnaissance de ses efforts²⁶⁸.



Knauf Insulation

En Belgique, l'industrie Knauf Insulation s'est donné pour objectif de réduire la production de déchet. On entend par là, une diminution en énergie dans la production mais aussi dans l'utilisation de matière polluante. C'est pourquoi l'entreprise liégeoise a décidé d'utiliser près de 80% de calcin recyclé dans la production d'isolant en laine de verre. Il s'agit d'associé le calcin, qui est du verre pilé en poussière issu du tri, avec le liant ECOSE et des matières minérales. Les propriétés acoustiques et thermiques des produits, distribués en matelas, reste identique et permettent une réduction des

²⁶⁴ « Un cycle sans fin de durabilité et de réutilisation ». (n. d.). Carbstone. En ligne : https://www.carbstone.be/fr/?gad_source=1&qclid=CjwKCAjwnei0BhB-EiwAA2xuBoepPez2Rxpdkadk_IcqBWYOAu1yCZxmu4PeQ_uY2TghmGkB9R0Qyx0CgRcQAvD_BwE (Consulté le 25 juillet 2024).

²⁶⁵ « Carbstone : le premier bloc de béton qui absorbe le CO₂ ». (n. d.) Carbstone. En ligne : <https://www.carbstone.be/fr/carbstone-le-premier-bloc-de-beton-qui-absorbe-le-co2/> (Consulté le 25 juillet 2024).

²⁶⁶ « Etude de nouveaux matériaux à haute valeur ajoutée issus de la biomasse pour une application dans le développement industriel ». (2020). Biocore. Interreg. 47 pages. En ligne : https://www.orhi-poctefa.eu/wp-content/uploads/2021/04/synthFRV2_etude-de-nuevos-materiales-para-aplicaciones-industriales.pdf (Consulté le 26 juillet 2024).

²⁶⁷ Idem

²⁶⁸ Rotteleur, A., (2018). « Communiqué de presse : Les majors du bâtiment font confiance à l'isolation chanvre Biofib' ». Biofib'. 10 pages. En ligne : <https://www.biofib.com/wp-content/uploads/2018-11-cp-les-majors-font-confiance-au-chanvre.pdf> (Consulté le 26 juillet 2024).

émissions CO2 pour une utilisation multifonctionnelle dans la construction. Comme évoqué, la production des matériaux suit des étapes de cycle de vie avec une ligne de recyclage installé depuis 1 an pour tout type de déchets de laine de verre. Les étapes d'approvisionnement jusqu'à la mise en œuvre minimise les pertes énergétiques avec une récupération possible du matériau lorsqu'il est en fin de vie²⁶⁹. De plus, le matériau présente des certifications de conformités assurant les capacités et caractéristiques du produit²⁷⁰.



Eiffage Construction

D'autres entreprises cherchent à réduire leur consommation énergétique pendant les phases de production et de mise en œuvre. Le groupe Eiffage, une entreprise française, s'engage à promouvoir la circularité à travers huit métiers : la construction, l'immobilier, l'aménagement urbain, le génie civil, le traitement du métal, le traitement des routes, l'utilisation énergétique des systèmes et le domaine de la concession. Eiffage, pilier de l'industrie, fonctionne grâce à la collaboration et aux échanges entre 72 000 entités, dont 11 000 dans le secteur de la construction. Cette association favorise l'efficacité du développement de la circularité, chaque membre partageant et transmettant cette ambition.

Parmi les nouveaux projets, on trouve des initiatives bas carbone utilisant des matériaux comme le bois, la paille, le chanvre, et le béton bas carbone, ainsi qu'une forte présence d'aménagements verts. Il y a également des projets de réaménagement et de rénovation, parfois pour des reconversions. L'« éco-vision » de l'entreprise vise à participer activement à l'économie circulaire en soutenant l'industrialisation de la construction, tout en améliorant la production et la mise en œuvre de matériaux pour une efficacité énergétique accrue²⁷¹.



Saint-Gobain

L'entreprise Saint-Gobain illustre bien la transition d'une économie linéaire vers une économie circulaire. Forte de ses plus de 350 ans d'existence, elle a pris du recul pour

²⁶⁹ « Fiche de déclaration environnementale et sanitaire de produit : Knauf Insulation : laine de verre ECOSE TP 138 100 mm ». (2017). Knauf Insulation. 19 pages. En ligne : https://www.knaufinsulation.com/sites/ki_com/files/uploads/FDES_NF%20EN%2015804%20TP138%20100mm%20step3.pdf (Consulté le 5 août 2024).

²⁷⁰ Idem

²⁷¹ CIMAYA, (2021). « L'essentiel 2021 : Les valeurs du groupe Eiffage pour innover et inventer un avenir à taille humaine ». Eiffage. 28 pages. En ligne : <https://www.eiffageconstruction.com/files/live/sites/construction-v2/files/Documents/documents-reference/2021/EiffageConstruction-Essentiel2021.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

repenser son modèle économique afin de concevoir, produire et distribuer des matériaux de manière plus durable. Saint-Gobain s'est engagée dans l'économie circulaire en améliorant la conception de ses produits pour minimiser leur impact environnemental tout au long de leur cycle de vie.

L'entreprise optimise la consommation de ressources et réduit les déchets internes en intégrant des pratiques de recyclage et de réutilisation. Elle a mis en place des mesures pour réduire et récupérer les matériaux pendant l'installation et en fin de vie des produits. En développant des réseaux locaux d'économie durable, Saint-Gobain collabore avec divers acteurs pour gérer efficacement les ressources.

De plus, l'entreprise assure la transparence des données environnementales, aidant ainsi ses clients à faire des choix de construction plus durables. Pour garantir cette efficacité, Saint-Gobain utilise l'Analyse du Cycle de Vie (ACV), un outil essentiel pour évaluer l'impact environnemental de ses activités²⁷².



4.3 Le Business Model actuel de la Pierre Bleue Belge

Ce chapitre est essentiel pour l'application de la nouvelle filière de réemploi, qui sera complémentaire à l'industrie actuelle de la Pierre Bleue Belge et pourra être étendue à l'ensemble des carrières wallonnes. Avec l'aide de Benoit Misonne, tous les facteurs du Business Model existant ont été définis²⁷³. Cependant, les aspects liés à la viabilité économique de l'entreprise ne seront pas abordés afin de préserver la confidentialité et, car une analyse économique plus approfondie serait nécessaire.

L'objectif est de comprendre et d'expliquer le bon fonctionnement des carrières de Pierre Bleue Belge, ainsi que de l'améliorer de manière complémentaire au modèle existant.

Proposition de valeur « Désirabilité »

La pierre bleue belge est reconnue comme une alternative locale respectueuse de l'environnement, offrant des performances physiques remarquables. La politique de « Zéro déchet »²⁷⁴ de l'entreprise reflète une volonté de réduire la dépense énergétique et transmet cette valeur aux entreprises partenaires. Les carrières proposent une gamme de textures et de finitions, mettant en avant la multifonctionnalité et les

²⁷² Normant, E., (2022). « Nos solutions pour l'économie circulaire ». Saint-Gobain. 54 pages. En ligne : <https://www.saint-gobain.com/sites/saint-gobain.com/files/media/document/Economie%20circulaire%20SG%202022.pdf> (Consulté le 26 juillet 2024).

²⁷³ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

²⁷⁴ « Nos engagements ». (n. d.). La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/nos-engagements/> (Consulté le 22 juillet 2024).

caractéristiques physiques de la pierre, tout comme à l'époque. Aujourd'hui, La Pierre Bleue Belge vise à réintégrer cette pierre, définie comme urbaine et contemporaine, permettant ainsi une durabilité historique.

Segment de clientèle « Désirabilité »

La clientèle de la Pierre Bleue Belge est constituée principalement de partenaires qui jouent un rôle crucial dans la propagation du matériau. L'entreprise sert essentiellement de fournisseur aux magasins vendant des matériaux. On compte près de 150 revendeurs de pierre provenant des carrières de la Pierre Bleue Belge, tant en Belgique qu'en Europe²⁷⁵. Ces partenaires achètent la pierre bleue pour la revendre dans leurs magasins, permettant ainsi d'atteindre une autre clientèle : les acheteurs finaux. Ceux-ci, qu'ils soient particuliers ou professionnels, peuvent utiliser le produit pour diverses applications. Les carrières de la Pierre Bleue Belge collaborent également avec des entreprises de construction pour des achats directs, même si cela est plus rare, notamment pour des commandes spécifiques en grande quantité.

Canaux « Désirabilité »

Sur le site internet de la Pierre Bleue Belge, on trouve l'histoire des carrières ainsi que les caractéristiques et propriétés des produits. Les différents articles scientifiques et certifications y sont également disponibles, dans le but de servir de source d'informations pour des études, comme celle-ci. Pour contacter l'entreprise concernant un projet commercial spécifique, il est possible de trouver leur adresse électronique sur le site. Toutefois, comme l'entreprise le mentionne, il est souvent préférable de contacter le réseau de distribution, car après avoir vendu la pierre à ces partenaires, ceux-ci possèdent les droits de vente et la propriété du produit. Il est également possible de visiter les carrières dans le cadre scolaire et culturel²⁷⁶.

Relation avec le client « Désirabilité »

Comme expliqué, le réseau de communication de la Pierre Bleue Belge s'établit principalement à distance. Ce contact, surtout avec les revendeurs, est permanent pour la commande des produits des carrières. Au début, il est possible que les nouveaux partenaires souhaitent s'entretenir directement avec les carrières pour discuter du contrat et des clauses, étant donné qu'il s'agit d'un engagement à long terme et non simplement d'une vente unique. Par la suite, les commandes se font généralement de manière mensuelle.

Pour les commandes particulières, la mission de l'entreprise est de fournir les ressources matérielles adéquates, ce qui implique souvent un plus grand contact humain avec les clients. Ces derniers peuvent ainsi voir par eux-mêmes la fabrication

²⁷⁵ « Trouvez un revendeur ». (n. d.) La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-reseau/> (Consulté le 22 juillet 2024).

²⁷⁶ « Nous contacter ». (n. d.) La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/contact/> (Consulté le 22 juillet 2024).

et l'évolution de leur produit, nécessitant parfois des rendez-vous en présentiel pour discuter des détails.

En résumé, la relation avec le client est composée à 75% de communication à distance et à 25% d'interactions humaines, favorisant la confiance et l'efficacité.

Activités clés « Faisabilité »

La partie sur les activités clés de l'entreprise de la Pierre Bleue Belge a déjà été expliquée en détail dans la section « *Analyse du gisement actuel de la Pierre Bleue Belge* ». Cette section est particulièrement dense car elle fournit des informations sur les efforts énergétiques à chaque étape de la production, les ressources utilisées, les méthodes de production, ainsi que le fonctionnement global de l'entreprise²⁷⁷.

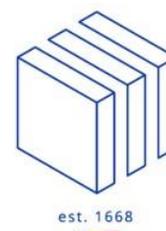
Ressources clés « Faisabilité »

Tout d'abord, le site bâti constitue une ressource essentielle pour la production de la pierre bleue. Les carrières offrent une capacité surfacique adéquate pour accueillir les infrastructures nécessaires, facilitant ainsi la conception à proximité du lieu d'extraction.

Ensuite, les véhicules jouent un rôle crucial sur l'ensemble du site, principalement pour l'extraction et le transport des pierres. Les chargeuses, auto-élévateurs et camions consomment une énergie supplémentaire pour acheminer les pierres aux différentes étapes de production et jusqu'aux revendeurs²⁷⁸.

Divers outils matériels sont également mobilisés pour le travail de la pierre, incluant des outils manuels et mécaniques tels que les disques à scier et les armatures de sciage²⁷⁹.

Enfin, le choix des intervenants internes est primordial pour assurer une production efficace. La connaissance et l'expertise sont essentielles pour traiter correctement la pierre bleue. Ainsi, différentes catégories de main-d'œuvre seront mobilisées, notamment des ouvriers expérimentés, des ouvriers débutants, des rocteurs, des tailleurs de pierres et des foreurs²⁸⁰. Les opérateurs de la filière auront la responsabilité de maintenir l'efficacité des machines²⁸¹.



²⁷⁷ Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

²⁷⁸ Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

²⁷⁹ Idem

²⁸⁰ Misonne, B., (2024). « Les corps de métier des carrières de Pierre Bleue Belge ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel

²⁸¹ Idem

4.4 Conclusion

Ce chapitre démontre que l'application du réemploi des matériaux dans le domaine de la construction n'est pas une démarche simple. L'objectif est de prévenir les difficultés potentielles liées à l'insertion du réemploi. Cette approche réfléchie permet de faciliter la prise de décision quant à la création future d'une filière de réemploi dédiée à la Pierre Bleue Belge.

Alors, il est essentiel de souligner que la mise en œuvre d'une telle filière est complexe. Les défis économiques, sociaux et environnementaux nécessitent une gestion et une réglementation adaptée. La collaboration entre les parties prenantes, y compris les professionnels de l'industrie, les autorités réglementaires et les communautés locales, est cruciale pour maximiser les avantages potentiels tout en minimisant les risques.

Pour permettre une transition vers une économie circulaire, il est également essentiel de s'appuyer sur un développement similaire à celui d'autres entreprises, assurant ainsi la durabilité de l'entreprise. Cette transformation implique non seulement des changements dans la manière dont les entreprises structurent et gèrent leurs activités, mais aussi une révision fondamentale de leurs stratégies pour intégrer des pratiques circulaires et éco-innovantes.

Ces stratégies s'appliquent dans un modèle économique déjà existant. Le Business Model Canvas sert d'outil essentiel pour structurer les informations, permettant une modification sous forme de différents facteurs interconnectés, facilitant la compréhension et la logique de modification. Dans le cadre de ce travail, le modèle économique actuel de la Pierre Bleue Belge reprend ces facteurs. Ce chapitre pose les bases pour le développement d'une nouvelle filière de réemploi et la promotion de la circularité dans des matériaux spécifiques comme la Pierre Bleue Belge, montrant la voie vers une construction plus responsable et durable.

La Pierre Bleue Belge intègre déjà des enjeux environnementaux dans son modèle économique existant. Cependant, il est nécessaire de confronter chaque facteur à une circularité pour atteindre une complémentarité avec le modèle existant et favoriser la cohérence vers une économie circulaire totale.

**5 CHAPITRE 04. APPLICATION LOGISTIQUE –
NOUVELLE FILIERE DE REEMPLOI – CAS : *LES
CARRIERES DE LA PIERRE BLEUE BELGE***

Après avoir identifié les caractéristiques essentielles pour établir une conception circulaire au sein d'une entreprise, ce chapitre final vise à répondre à l'objectif de la question de recherche : comment allier patrimoine et circularité des matières grâce à l'activation de nouvelles activités logistiques ?

Tout d'abord, il est important de noter que plusieurs obstacles liés au modèle économique actuel des Carrières de la Pierre Bleue Belge se dressent face à cet objectif. Ces contraintes seront donc analysées en détail. L'objectif n'est pas de créer une filière distincte, mais plutôt d'identifier et de surmonter ces obstacles en utilisant la filière de réemploi. L'idée est de trouver une complémentarité et une symbiose entre les deux approches. Pour cela, les huit cases du business model Canvas seront examinées une par une pour déterminer les obstacles associés à chacune.

Ensuite, en se basant sur les ressources scientifiques et les données collectées dans chaque chapitre, il sera possible de développer la nouvelle filière de réemploi. Les huit cases du modèle seront revisitées et adaptées pour intégrer une approche circulaire. Cette démarche tentera de répondre à la question de recherche de ce travail de fin d'études.

5.1 Analyse des contraintes du Business Model de la Pierre Bleue Belge

Proposition de valeur

Les objectifs des Carrières de la Pierre Bleue Belge ne sont pas entièrement atteints. Bien qu'ils s'engagent à minimiser la production de déchets et la consommation énergétique grâce à leur politique de « zéro déchet », l'analyse du gisement révèle encore des dépenses énergétiques importantes lors de l'exploitation de la pierre bleue belge. De plus, les phases d'extraction et de sciage entraînent des pertes significatives, compromettant ainsi leur engagement.

Par ailleurs, les défis posés par la concurrence économique étrangère, l'innovation matérielle dans la construction et les exigences PEB constituent des obstacles majeurs à leur proposition de valeur, dépassée par ces éléments.

Segment de clientèle – « Désirabilité »

Malgré une distribution à l'échelle nationale, la clientèle des Carrières de la Pierre Bleue Belge reste traditionnelle. Les principaux clients sont des magasins de construction classiques, où la pierre bleue est souvent mélangée à d'autres matériaux moins coûteux, ce qui ne la met pas en valeur, malgré ses qualités pour la construction. De plus, les entreprises qui établissent des commandes spécifiques sont généralement les mêmes. Il s'agit de commandes de bordures pour voiries ou des

dallages extérieurs, ce qui restreint la perception multifonctionnelle de la pierre bleue belge.

Canaux – « Désirabilité »

Les Carrières de la Pierre Bleue Belge offrent un unique moyen d'information sur leurs produits. Bien que leur site internet soit riche en données et en explications, il serait pertinent de s'adapter aux évolutions technologiques actuelles pour toucher une clientèle plus large, plutôt que de se contenter d'une publicité statique. Cet aspect est en phase avec la nécessité d'innovation dans leur démarche entrepreneuriale.

Relation avec la clientèle – « Désirabilité »

Ce point ne pose aucun problème particulier dans le cadre d'une stratégie circulaire et de revalorisation de la pierre bleue belge.

Activités clés – « Faisabilité »

En lien avec la proposition de valeur, les Carrières de la Pierre Bleue Belge consomment beaucoup d'énergie. Il est donc crucial de repenser ces activités pour réduire cette consommation.

Pour atteindre l'objectif de « zéro déchet », il faut également optimiser les processus, car une trop grande quantité de pierres est concassée ou transformée en granulats après extraction et sciage, par rapport à celles qui sont prêtes pour l'étape suivante.

De plus, bien que l'exploitation continue de la pierre bleue soit nécessaire pour garantir l'efficacité économique, la demande décroissante pourrait entraîner un surplus de stockage.

Enfin, les formats standardisés des produits finis limitent le potentiel de marché. Diversifier les formats permettrait non seulement d'élargir ce marché, mais aussi de renforcer la multifonctionnalité de la pierre bleue belge.

Ressources clés « Faisabilité »

En ce qui concerne les activités clés, il est crucial de comprendre comment l'énergie est produite et utilisée. Les outils mécaniques employés lors des différentes étapes sont les principaux consommateurs d'énergie. Bien que l'utilisation de moyens de transport nécessaires pour acheminer les produits d'une étape à l'autre soit polluant, leur consommation énergétique reste négligeable comparée à celle d'autres équipements, tels que les foreuses d'extraction, les disques à scier et les armatures de sciage. Ces processus, dits « procédés », nécessitent une production d'énergie continue, rendant difficile l'obtention d'un bilan énergétique réduit.

5.2 Activation de nouveaux chaînages de réemploi et complémentarité avec les chaînages existants

Proposition de valeur

La pierre bleue belge est reconnue comme une alternative locale respectueuse de l'environnement, offrant des performances physiques remarquables. Toutefois, sa popularité décroît en raison de contraintes économiques, d'innovations concurrentielles et de normes de construction limitant sa polyvalence. Une solution émerge sous la forme de la pierre bleue de réemploi, qui pourrait répondre à ces défis. En appliquant l'initiative du concept des 9R sur la pierre en fin de vie tout en préservant son histoire et ses qualités physiques, cette approche favorise une réduction de la consommation énergétique et contribue à réduire les émissions polluantes. De plus, le processus de récupération en carrière renforce la confiance dans le produit grâce à l'expertise des professionnels qui connaissent intimement la pierre. Cette approche démontre une prise en compte pragmatique des enjeux écologiques et durables dans le choix des matériaux de construction.

Segment de clientèle « Désirabilité »

Bien qu'il s'agisse d'une nouvelle filière, cela n'implique pas de rupture avec la filière existante. En effet, plusieurs aspects, notamment la clientèle, continueront de s'appuyer sur les bases existantes. Ainsi, il y aura une clientèle établie et une nouvelle clientèle qui contribuera à l'essor du potentiel offert par le réemploi de la pierre bleue. Les carrières de la Pierre Bleue Belge conserveront ainsi leur clientèle existante, comme les fournisseurs qui proposeront une gamme élargie de produits en pierre bleue dans les magasins, ainsi que les entreprises de construction passant des commandes spécifiques en grande quantité. L'objectif de cette filière est de répondre aux besoins individuels de chaque client. L'innovation progressive de l'entreprise des Pierres Bleue Belge, à travers des initiatives telles que le réemploi d'un matériau géosourcé, stimulera l'intérêt d'autres acteurs du secteur de la construction²⁸². De plus, le réemploi élargira le champ d'action de la clientèle, ajoutant une valeur supplémentaire aux offres existantes des carrières de la Pierre Bleue Belge²⁸³. Ainsi, plusieurs autres fournisseurs spécialisés dans le réemploi pourront revendre les produits avec confiance tout en les valorisant. Plusieurs autres fournisseurs spécialisés dans le réemploi pourront commercialiser les produits avec confiance, les valorisant davantage. Une nouvelle opportunité émergera également, celle de récupérer les pierres sur leur site d'origine pour les ramener dans les carrières.

²⁸² Lecossier, A., (2018). « Proposition d'un modèle de la phase amont de l'innovation pour permettre à une entreprise industrielle mature de créer des innovations radicales ». Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité « Génie industriel ». Promoteur : Richier, S. 212 pages.

²⁸³ Bellin, J., El-Warraky, N., et al. (2022). « La centricité vie : Les stratégies éprouvées pour réaliser la croissance grâce à la pertinence ». Accenture. 30 pages. En ligne : <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/markets/north-america/document/Accenture-La-Centricite-Vie.pdf> (Consulté le 10 mai 2024).

Cette approche élargit donc le marché tout en consolidant la position de l'entreprise dans le secteur de la pierre bleue, favorisant un avenir durable et prospère. Ainsi, la mise en place de cette filière de réemploi attirera une clientèle qui deviendra également un partenaire essentiel, contribuant ainsi à la diffusion du produit et à la lutte contre les défis environnementaux qui lui sont associés.

5.2.1.1 Canaux « Désirabilité »

Dans le cadre du nouveau modèle économique axé sur le réemploi de la pierre bleue, il est crucial d'examiner de près les canaux de communication qui faciliteront sa promotion et sa commercialisation.

Tout d'abord, la communication via la publicité digitale est un moyen essentiel aujourd'hui en raison de l'évolution technologique²⁸⁴. Ainsi, les réseaux sociaux et un site internet, comme celui déjà existant, pourront fournir davantage d'informations sur les avantages de ce matériau. Cette approche sociale favorise le partage et la communication facile à travers un échange continu et ciblé.

Ensuite, la publicité pourra également être menée en interne au sein des carrières, lieux de production de la pierre bleue belge. Cependant, ces sites à Soignies sont généralement moins fréquentés par la clientèle. Par conséquent, il sera pertinent de promouvoir les produits de manière indirecte, car même si les marges sont moins élevées, la portée est plus large²⁸⁵. Dans ce contexte, une collaboration pour la publicité des produits avec les fournisseurs, les premiers clients, permettra d'accroître la notoriété des produits de réemploi.

L'objectif de cette communication est de renforcer la notoriété de la pierre bleue belge, tant auprès des clients premiers mentionnés précédemment que de leurs propres clients. En effet, il est important de souligner que ces clients auront eux-mêmes une clientèle variée. Par exemple, les fournisseurs vendront depuis leurs magasins à des particuliers, tandis qu'un entrepreneur ou un architecte achèteront de la pierre bleue pour leurs clients, les maîtres d'ouvrage. La communication revêt une grande importance car elle vise à toucher le plus grand nombre possible de personnes²⁸⁶.

Relation avec le client « Désirabilité »

Dans cette perspective, l'option privilégiée consiste à intégrer certains éléments du Business Model Canvas existant, afin d'établir une synergie entre les deux filières. La filière de réemploi adoptera donc une dynamique relationnelle similaire. Cependant, il y aura un niveau accru de présence et d'interaction humaine en raison de la conception novatrice du processus. Dans le but de fidéliser de nouveaux clients, l'intégration d'une interaction humaine offrira une explication plus accessible et facilitera la réponse aux

²⁸⁴ Mercanti-Guérin, M., Vincent, M., (2016). « Publicité digitale ». Donud. France. 26 pages. ISBN 978-2-10-074364 -3

²⁸⁵ De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

²⁸⁶ Hossler, M., Jouanne, A., Murat, O., (2014). « Faire du marketing sur les réseaux sociaux : 12 modules pour construire sa stratégie social média ». Eyrolles. Paris. 314 pages. ISBN 978-2212556940

questions éventuelles. Par la suite, une fois que la persuasion et les échanges avec la clientèle, qu'elle soit déjà établie ou nouvellement acquise, auront été effectués à plusieurs reprises, l'objectif consistera à maintenir l'efficacité. Il serait alors envisageable de revenir à un ratio de 75% de communication à distance et de 25% d'interaction humaine.

Activités clés « Faisabilité »

Cette partie, la plus détaillée, décrit les différentes activités nécessaires à la création de pierre bleue belge de réemploi. La plupart des informations proviennent de l'analyse du gisement existant, complétées par l'évaluation de l'utilité du gisement de réemploi. Le cas d'étude de la « Maison aux cariatides, rue Louvrex » permet de suivre le cycle de vie de la pierre de réemploi à partir d'un exemple concret.

De plus, divers matériaux ayant déjà fait l'objet d'un réemploi seront des sources essentielles pour cette étude. Les phases de normalisation de matériaux comme la brique en terre cuite²⁸⁷ et les parquets en bois²⁸⁸ seront utilisés comme référence pour le cycle de vie d'un matériau de réemploi. D'autres références, telles que le projet FCRBE²⁸⁹ et Feder BBSM²⁹⁰, seront mobilisées pour soutenir les propos évoqués.

Les différentes phases de l'étude couvriront la récupération des pierres bleues jusqu'à leur vente. Cependant, aucune ressource n'a été allouée à la recherche pour quantifier quelles pierres pourront effectivement être réemployées. La première étape du cycle de vie de la pierre bleue sera l'évaluation concrète et significative des pierres destinées au réemploi, car les données ont pu être collectées sur le site où les pierres sont entreposées. Il s'agit donc d'une recherche exhaustive dans le cadre d'un travail de fin d'études.

Analyse rapide du potentiel de réemploi de la pierre bleue

Avant d'envisager les autres phases du réemploi de la pierre bleue, une analyse approfondie de la situation actuelle est indispensable, impliquant la localisation des pierres bleues et l'évaluation de leur état initial. Cette démarche vise à évaluer les performances du matériau et à trier les pierres par catégories, selon différents critères consignés dans une fiche d'inventorisation établie par Interreg dans le cadre du projet FCRBE²⁹¹.

²⁸⁷ Poncelet, F., Vrijders, J., (2021). « Fiche produit-application : briques de terre cuite destinées à être réemployées en parement ». BBSM. 43 pages. En ligne : [annexe-17-WP6-fiche-produit-application-briques-de-terre-cuite-parement.pdf \(bbsm.brussels\)](#) (Consulté le 15 mai 2024)

²⁸⁸ Poncelet, F., Vrijders, J., (2021). « Fiche produit-application : parquets en bois massif destinés à être réemployés en revêtements de sol intérieur ». BBSM. 33 pages. En ligne : [BBSM-WP6-Fiche-produit-application-Parquet-en-bois-massif-de-reemploi-VF-1.pdf](#) (Consulté le 15 mai 2024)

²⁸⁹ « FCRBE – Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe ». (n. d.) Interreg FCRBE. En ligne : <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/> (Consulté le 16 mai 2024).

²⁹⁰ Bos, M., Trachte, S., et al. (UCL) (2021). « Projet Feder BBSM : rapport scientifique WP3/4 – Analyse des filières existantes en RBC ». BBSM. 159 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/257593> (Consulté le 28 mars 2024)

²⁹¹ Deweerdt, M., (Buildwise), Mertens, M., (Brux. Envir.), (2020). « Un guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction ». Interreg FCRBE. En ligne : <https://vb.nweurope.eu/media/10130/fr->

Dans un premier temps, un tri visuel permettra d'évaluer l'état général des pierres, leur aspect physique, leur couleur, leurs finitions, ainsi que leurs dimensions. Ensuite, des spécialistes procéderont à un tri manuel et auditif pour évaluer l'état physique interne des pierres, ce qui permettra d'identifier une quantité considérable de pierres, sur les 20,5m³ relevées, présentant des dimensions favorables pour le réemploi, notamment celles utilisées comme revêtement dans la construction principale de la "Maison aux cariatides".

Cette phase constitue l'unique étape où l'intégration de valeurs quantitatives dans la recherche est envisageable.

Démontage, stockage et transport des pierres depuis le site

Après avoir sélectionné les pierres, il est crucial de les récupérer et de les transporter vers les carrières de la Pierre Bleue Belge. Bien que le démontage initial des pierres ne soit pas applicable au cas de la Maison aux Cariatides, étant donné qu'il a déjà été effectué et que les pierres sont entreposées sur le site de la faculté de Saint-Luc, cette étape reste cruciale pour minimiser les pertes¹²⁸. Le démontage systématique des matériaux est essentiel, et un guide explicatif du démontage a déjà été élaboré par le groupe CDR Construction pour différents types de matériaux et équipements d'un édifice²⁹².

Les pierres, initialement stockées sur le site de la faculté, peuvent être récupérées sans nécessiter de besoins énergétiques supplémentaires. Cependant, elles devront être regroupées à un point de référence avant d'être récupérées ultérieurement, nécessitant l'utilisation d'auto-élévateurs et de chargeuses pour cette étape logistique. Les pierres triées ne nécessitent pas de protection supplémentaire, car elles sont compatibles à 100% avec le milieu naturel.

Ensuite, les conducteurs achemineront les matériaux via les voies de circulation, similairement au transport initial des pierres bleues depuis les carrières jusqu'à leurs fournisseurs.

Après la récupération des pierres au moyen d'auto-élévateurs et de chargeuses, la mise en place d'un emplacement de stockage s'avère indispensable pour accueillir les divers amas préalablement triés.

Analyse approfondie du potentiel de réemploi de la pierre bleue

Cette phase du cycle de vie de la pierre de réemploi revêt une grande importance, car elle englobe les processus de mise aux normes et d'évaluation des performances de chaque pièce. Pour faciliter cette évaluation, le référentiel de la Futureuse, intitulé « Évaluer la performance technique des matériaux de construction de réemploi »²⁹³ et

fcrbe_wpt2_d12_un_guide_pour_lidentification_du_potentiel_de_r%C3%A9emploi_des_produits_de_construction.pdf (Consulté le 16 avril 2024).

²⁹² « Réemploi des matériaux de construction ». (n. d.) REUSE.brussels. En ligne : [Réemploi du matériel de construction – MANUELS DE DÉMONTAGE AVEC UNE FINALITÉ DE RÉEMPLOI](#) (reuse.brussels) (Consulté le 16 mai 2024).

²⁹³ Nasserredine, M., (CSTB) Poncelet, F., (Buildwise) (2021). « FutuREuse - Evaluer la performance technique des matériaux de construction de réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15812/bookletfcrbefr2_evaluation_performances.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

élaboré dans le cadre du projet FCRBE, servira de guide. Quatre étapes distinctes seront distinguées dans le processus d'évaluation des performances de la pierre bleue de réemploi : Exigences techniques, récolte des informations sur le produit, évaluation, validation.

Dans un premier temps, il sera nécessaire d'identifier les exigences techniques, classifiées en exigences essentielles, couvrant des critères tels que les performances, les résistances, la qualité de l'air intérieur, et la sécurité, ou complémentaires, incluant des performances additionnelles et des caractéristiques spécifiques aux produits et au lieu de réemploi.

Dans un second temps, les informations sur le produit de réemploi seront recueillies pour définir l'origine fonctionnelle des pierres et leurs imperfections éventuelles.

Dans ce contexte, il est observé que la pierre utilisée pour le cas d'étude a été traitée et préservée dans son état d'origine au fil des années. Malgré quelques variations de couleur, la plupart des détails sont demeurés intacts. Cependant, on observe l'impact de la démolition des façades, avec la présence de plusieurs fissures, bien que leur quantité reste négligeable par rapport à la proportion intacte.

Par la suite, les méthodes d'évaluation et le niveau de fiabilité requis seront définis, en tenant compte de l'état initial du projet et des propriétés du produit.

Dans le contexte de la pierre bleue et de la Maison aux Cariatides, toutes les indications pointent vers une fiabilité élevée du produit, avec une utilisation de la pierre bleue dans des conditions optimales. De plus, transport vers les carrières d'extraction facilite l'analyse de son état par des experts spécialisés.

Enfin, la dernière phase dépendra de la méthode d'évaluation choisie, que ce soit directe, par évaluation physique et visuelle précise, indirecte, par évaluation par fiches techniques, certification et analyse historique des matériaux qui ont été utilisés, ou par des essais en laboratoire.

Le bilan des pierres destinées au réemploi est positif, avec près de la totalité qui peut être réutilisable. Ceci indique qu'il y a un intérêt quantitatif et qualitatif justifiant le choix de ce cas d'étude.

Travail sur la pierre de réemploi

Les pierres nécessiteront par la suite un traitement spécifique afin de pouvoir être réutilisées dans des conditions optimales. Comme l'indique Laura Foulquier, docteur en Histoire de l'art et Archéologie, le réemploi des pierres peut être assimilé à une métamorphose, s'envisageant comme un renouveau découlant du démontage des structures existantes. Au sein de ces anciennes infrastructures, des fragments

intéressants peuvent être découverts, conservant ainsi leur potentiel, à la manière des archéologues.²⁹⁴

Par rapport à la filière existante, la pierre n'aura qu'à subir la phase de façonnage et finition, consommant le moins d'énergie parmi toute les phases d'exploitations de la pierre bleue belge.

Façonnage et finition

La phase d'exploitation de la pierre de réemploi est cruciale, car les pierres transportées peuvent présenter des imperfections et des finitions telles que des sculptures ou des moulures. Pour rendre une pierre utilisable, un traitement des surfaces est donc indispensable.

La première étape consiste à décider de la conservation ou non des détails originaux, évaluée par des experts en taillage de pierre. Pour les pièces aux détails sculpturaux de la Maison aux Cariatides entreposées dans leur état d'origine, il est envisageable de les récupérer sans altérer le relief sculpté, permettant ainsi une transmission historique vers de nouveaux projets. Pour les pierres présentant des défauts compromettant leur état d'origine, un traitement par taillage est nécessaire, conduisant à la distinction de deux types de pièces : celles ayant subi un traitement léger et celles complètement transformées en pierre de taille sans relief. En raison de la richesse des détails et du nombre d'imperfections sur les pierres de la Maison aux Cariatides, un travail minutieux est essentiel pour éviter toute perte substantielle ou dommage supplémentaire.

Ensuite, un processus de polissage et de surfaçage nettoiera et sublimerà les pierres. Les pierres seront débitées et traitées manuellement pour éliminer les morceaux inutilisables, ainsi que les tâches, noircissures et autres imperfections visuelles. Les surfaces seront polies selon la finition requise, déterminée en fonction de la future utilisation des pierres et des dimensions obtenues au cours des étapes précédentes.

Stockage, emballage et transport des pierres de réemploi

L'emballage sera réalisé de la même manière que dans la filière existante, car les livraisons aux fournisseurs et revendeurs impliquent l'association des deux types de produits. Ainsi, les articles seront enveloppés de plastique, puis recouverts de frigolites et de mousses pour amortir les chocs. Cependant, tous les produits ne seront pas destinés à la vente immédiate. En effet, une marge de stockage sera envisageable dans un ou plusieurs entrepôts, similairement à ce qui se fait pour les produits neufs actuels. Ces produits seront acheminés vers les fournisseurs par les voies routières, dans un délai de 4 à 6 semaines, conformément aux délais annoncés pour les produits existants par les carrières de la Pierre Bleue Belge.²⁹⁵

²⁹⁴ Foulquier, L., (2009). « La Métamorphose des pierres. Les réemplois, entre rebut et souvenir ». *Histoire de l'art et anthropologie*. Vol 1. En ligne : <https://doi.org/10.4000/actesbranly.252> (Consulté le 20 avril 2024).

²⁹⁵ « FAQ – Quels sont vos délais de livraison ? ». (n. d.). Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/faq/> (Consulté le 17 avril 2024).

Consommation d'énergie durant les étapes

L'objectif de cette recherche est de réduire les émissions polluantes, en particulier dans le secteur de la construction. Une analyse comparative avec la filière existante met en lumière l'impact environnemental positif du réemploi, comme le souligne le projet FCRBE dans son document Futureuse sur « les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur la construction »²⁹⁶. La pierre bleue belge émerge ainsi comme une solution prometteuse pour favoriser le développement durable.

On constate que le processus de réemploi implique moins d'étapes dans son cycle de vie par rapport à la filière existante. Le démontage peut parfois être évité, comme pour le cas d'étude, où la pierre est trouvée en tant que ruine, réduisant ainsi la consommation d'énergie. De plus, l'exclusion de toutes les étapes, mis à part le façonnage et la finition, entraîne une nette diminution de la consommation énergétique. L'énergie des machines de découpe est minimisée car le traitement de la pierre nécessite généralement un travail artisanal ou l'utilisation de machines de petite taille, consommant peu d'énergie polluante. La seule source d'énergie polluante similaire à celle de la filière existante reste le transport des produits, nécessitant toutefois une quantité d'énergie limitée.

Dimensionnements et fonctions des pierres bleues de réemploi

Les dimensions des pierres de réemploi seront déterminées lors du façonnage, avec plusieurs tailles disponibles sur le marché, basées sur les formats standard existants. En effet, l'objectif n'est pas de développer un marketing de produits.

Ces dimensions seront également déterminées selon leur état initial. Ainsi, pour garantir leur adaptation à leur nouvelle fonction, une évaluation préliminaire nécessitera un tri initial des morceaux récupérés, facilité par les données de l'inventaire initial.

Les pierres seront catégorisées en fonction de leurs dimensions initiales, avec des ajustements possibles lors du traitement suivant la nouvelle fonction des pierres bleues. Toutefois, l'objectif du réemploi est de permettre une réutilisation quasi totale du matériau initial présentant la qualité requise²⁹⁷. Les petites pierres seront principalement destinées au dallage et au revêtement de sol, tandis que les grandes pourront également servir à la construction et aux voiries. Les pierres de taille moyenne offriront une polyvalence d'utilisation adaptée à leurs conditions spécifiques. Cependant, de nouveaux formats adaptés aux pierres de réemplois pourraient permettre une vente d'une gamme plus large.

²⁹⁶ Douguet, E., (Buildwise) Wagner, F., (CSTB) (2021). « FutuREuse - Les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 23 pages. En ligne :

https://www.nweurope.eu/media/15808/bookletfcrbefr-1_impact_environmental.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

²⁹⁷ Geerts, G., Ghyoot, M., Naval, S., (ROTOR), (2020). « Un guide pour faciliter l'intégration de matériaux de construction de réemploi dans des projets de grande envergure et des marchés publics ».

[https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2021-](https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2021-03/20200331_fcrbe_wpt3_d1_1_un_guide_pour_l_integracion_de_mat%C3%A9riaux_de_construction_de_reemploi.pdf)

[03/20200331_fcrbe_wpt3_d1_1_un_guide_pour_l_integracion_de_mat%C3%A9riaux_de_construction_de_reemploi.pdf](https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2021-03/20200331_fcrbe_wpt3_d1_1_un_guide_pour_l_integracion_de_mat%C3%A9riaux_de_construction_de_reemploi.pdf) (Consulté le 20 avril 2024).

Au cours de l'analyse des pierres du cas d'étude, une faible quantité de petites dimensions ont été identifiées, avec une longueur comprise entre 0,5m et 1m. Après traitement, ils seront principalement destinés à être utilisés comme dallage et revêtement de sol.

Les pierres de grandes dimensions, principalement ayant une longueur comprise entre 2m à 3,5m, seront également traitées en vue de leur utilisation comme dallage et revêtement de sol. Pour les pierres qui ne subissent pas de pertes significatives, une réutilisation en construction et pour les voiries sera envisageable. De plus, ces pierres pourront être acquises à des fins spécifiques telles que la construction de murets et la création de sculptures, surtout si les détails sculpturaux sont conservés.

Enfin, la majorité des pierres de tailles moyennes, variant de 1m à 2m pourront être utilisées pour des applications de grande taille ou de petite taille en fonction de leurs conditions, offrant ainsi une polyvalence d'utilisation si elles ne subissent pas de pertes importantes.

Ressources clés « Faisabilité »

Tout d'abord, afin de faciliter l'exécution des diverses phases, la nécessité d'un site bâti se présente. Ce site peut être préexistant, relevant directement de la propriété de la Pierre Bleue Belge, ou sera érigé en cas de besoin d'espace supplémentaire. C'est pourquoi s'associer avec les carrières de la Pierre Bleue Belge est important pour le permettre.

D'autres facteurs physiques matériels seront mobilisés pour le transport des produits tout au long de ces différentes phases, jusqu'au dépôt chez les fournisseurs et revendeurs. Une fois de plus, les machines existantes telles que les auto-élévateurs, les chargeuses et les camions pourront être utilisées. À défaut, l'acquisition de nouveaux équipements sera nécessaire. D'autres matériels de la filière existante pourront être mis à contribution pour la réalisation de ces phases. On entend par là l'ensemble des outils manuels nécessaires aux finitions.

Ensuite, afin de garantir l'efficacité recherchée au sein de l'entreprise de la pierre bleue, le choix des intervenants internes revêt une importance capitale. En effet, la connaissance et l'expertise sont cruciales pour appréhender la manière adéquate de traiter la pierre bleue. À cet effet, différentes catégories de main-d'œuvre, bénéficiant d'une expérience dans la filière existante des carrières de la Pierre Bleue Belge, seront mobilisées. Ces travailleurs chevronnés assumeront un rôle de leadership auprès des moins expérimentés. On recensera ainsi une main-d'œuvre composée d'ouvriers expérimentés parmi lesquelles on retrouvera les tailleurs de pierres. Plusieurs chauffeurs sur site assureront le transport des produits, qu'ils soient en phase d'exploitation ou finis, vers leur destination assignée.

Enfin, la proposition de cette nouvelle filière de réemploi ne serait pas possible sans les fonds de financements par les partenaires premiers que sont les carrières de la Pierre Bleue Belge. En effet, un prêt de leurs ressources que ce soit les matériaux et les mains d'œuvre serait une aide économique supplémentaire.

5.3 Conclusion

La transition d'un modèle économique linéaire vers un modèle circulaire est non seulement possible, mais aussi bénéfique pour l'industrie de la pierre bleue belge. En effet, alors que le modèle actuel implique plusieurs étapes énergivores, la filière de réemploi contribue à une démarche « zéro déchet » en réduisant les pertes de ressources et énergétiques. Cela est possible grâce à une seule étape principale de production : le façonnage et la finition. Bien que la pierre doive d'abord être soumise à un démontage, à des transports et à une analyse approfondie pour vérifier son potentiel réemploi, l'énergie nécessaire à ces étapes reste bien inférieure à celle requise par les processus de production actuels (découverte, extraction, équarrissage, sciage).

L'emploi de main-d'œuvre qualifiée pour un travail manuel, comme des tailleurs de pierre ayant une connaissance intime du matériau, est essentiel pour la remise en forme des pierres destinées au réemploi, réduisant ainsi la dépendance aux machines mécaniques. Cette approche renforce la confiance dans le produit final, car elle implique des artisans qui connaissent parfaitement la pierre depuis sa première phase de vie.

En outre, cette filière innovante de réemploi offre de nouvelles opportunités pour les clients et le secteur de la construction, permettant de proposer des produits revalorisés avec des formats soit standardisés, soit adaptés à leurs dimensions d'origine en fin de vie. Cela garantit que la pierre conserve ses caractéristiques de multifonctionnalité et de pérennité, tout en préservant ses propriétés physiques.

En examinant l'approche circulaire, on observe de nombreuses similitudes avec le modèle économique existant. L'engagement environnemental des *Carrières de la Pierre Bleue Belge* a non seulement facilité, mais aussi encouragé la transition vers un modèle circulaire. Cette complémentarité entre les deux filières, plutôt qu'une dissociation, confirme la viabilité de l'intégration d'une filière de réemploi au sein d'une entreprise existante de pierre bleue belge.

Ainsi, il est possible d'affirmer que l'intégration d'une filière de réemploi au sein de cette industrie est non seulement réalisable, mais fortement recommandée.

6 CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail explore le potentiel de réemploi de la pierre bleue par la création d'une nouvelle filière au sein de l'industrie. Les objectifs sont de réduire les impacts environnementaux et de répondre aux enjeux liés à la diminution de l'utilisation de ce matériau dans le secteur de la construction. Ces enjeux incluent la concurrence étrangère²⁹⁸, les défis législatifs imposant des exigences croissantes²⁹⁹, ainsi que les défis sociaux, comme l'innovation constructive³⁰⁰, générant le manque de considération pour ce matériau local et patrimonial, qui pourrait s'inscrire dans une conception frugale³⁰¹.

Ainsi, les différentes étapes, détaillées en chapitres, permettent d'analyser les aspects liés à la pierre bleue belge et à l'économie circulaire, thématique principale de cette recherche. L'entrepreneuriat est également abordé pour comprendre la création, l'évolution et le maintien d'une entreprise, et envisager l'intégration d'une filière de réemploi au sein d'une structure existante.

Le premier chapitre présente la pierre bleue comme un matériau local et patrimonial aux caractéristiques physiques intéressantes. Pour cela, cette section contextualise le domaine de la géologie, en montrant que la Belgique joue un rôle clé dans l'exploitation des ressources grâce à sa richesse géologique³⁰². Depuis longtemps, le pays utilise ces ressources pour l'industrialisation et la construction.

Aujourd'hui, bien que l'utilisation de la pierre bleue belge diminue, les carrières restent actives, avec plus de 50 sites d'extraction de roches ornementales³⁰³. Cela témoigne de l'importance continue de ce matériau, avec les Carrières de la Pierre Bleue Belge comme partenaire clé. Toutefois, il est important de noter qu'aucune initiative n'est encore prise pour exploiter la pierre bleue belge dans une perspective d'atténuation du changement climatique et d'adaptation à celui-ci.

La richesse géologique de la Belgique nécessite également une explication précise des minéraux et de leur classification. Cette partie permet de comprendre la composition des roches, en particulier celle de la pierre bleue belge, composée principalement de crinoïdes et classée comme roche sédimentaire carbonatée³⁰⁴. Elle se forme par l'agrégation de divers dépôts marins, se caractérise par des couches

²⁹⁸ Dethier, P., (2014). « Pierres Wallonnes & Marchés publics ». *Pierres et Marbres Wallonie*. 16 pages. En ligne : https://www.federationpierrebleue.be/app/download/9794598524/PMW-circulaire_marcourt.pdf?t=1403798916 (Consulté le 10 mai 2024).

²⁹⁹ Seys, S., (Rotor). (2017). « Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction : Un meilleur cadre pour le réemploi de produits, pas d'obligation de marquage CE et un système d'évaluation ad hoc ». *BBSM*. 94 pages. En ligne : <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf> (Consulté le 10 juin 2024).

³⁰⁰ Ombeline, T., (2020). « La pierre dans l'architecture contemporaine. Représentations et usages ». *Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux*. Promoteur : Chadouin, O. 123 pages.

³⁰¹ Bornarel, A., Gauzin-Müller, D., Madec, P., (2018). « Manifeste pour une frugalité heureuse & créative ». *Frugalité heureuse & créative*. 4 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2021/11/le-Manifeste.pdf> (Consulté le 5 février 2024).

³⁰² Pacyna, D., (2006). « Collecte, diffusion et utilisation de l'information relative à la géologie en Région wallonne : la carte géologique et ses thématiques ». *Géologie de la France*. N°1-2. 4 pages (pp. 115-118). En ligne : <http://geolfrance.brgm.fr/sites/default/files/upload/documents/gf18-1-2006.pdf> (Consulté le 10 mai 2024).

³⁰³ Entretien avec Benoît Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

³⁰⁴ Tourneur, F., (2019) « Pierre bleue : caractéristiques géologiques, économie locale et applications ». *Pierre et Marbres de Wallonie, Pôle de la Pierre, Objectif Blue Stone*. 101 pages. En ligne : <https://www.objectifbluestone.eu/wp-content/uploads/2019/10/1.-Francis-TOURNEUR-Introduction.pdf> (Consulté le 15 mai 2024).

stratifiées visibles lors de l'analyse du sol³⁰⁵. Cette explication est cruciale pour comprendre les capacités physiques de la pierre bleue belge.

Enfin, la dernière section du chapitre met en lumière les propriétés de la pierre bleue : matériau local, géosourcé, peu transformé, durable, et multifonctionnel, ce qui correspond parfaitement aux objectifs environnementaux de ce travail. Diverses recherches, notamment celles d'Éric Groessens³⁰⁶ et de Buildwise³⁰⁷, qui rédigent des fiches techniques sur les matériaux de construction, confirment cet intérêt pour la pierre bleue belge. Des architectes renommés, tels que Victor Horta, précurseur de l'Art Nouveau, montrent également un vif intérêt pour ce matériau³⁰⁸.

Le deuxième chapitre approfondit l'importance de l'utilisation locale de la pierre bleue belge. Une approche multiscale est adoptée, partant d'une échelle macroscopique sur la ville de Liège pour se recentrer ensuite sur un cas spécifique.

D'abord, l'approche macroscopique met en évidence que la Wallonie possède une grande quantité de pierre bleue³⁰⁹. Elle orne aussi bien les maisons de maîtres, avec des pierres sculptées et nobles, que les constructions ouvrières, principalement en soubassement ou en encadrement de fenêtres, bien que dans une moindre mesure. Contrairement à la Flandre, la préservation patrimoniale des constructions wallonnes après-guerre permet de conserver ces ressources, offrant ainsi la possibilité de réutiliser ces matériaux en fin de vie³¹⁰.

Ensuite, l'approche microscopique permet de mieux comprendre le rôle architectural et structurel de la pierre bleue dans ces constructions. La Maison aux Cariatides est un excellent exemple de l'importance de ce matériau, car presque tout le bâtiment est en pierre bleue³¹¹. Aujourd'hui déconstruite et entreposée sur le site de la Faculté d'Architecture, il est crucial d'effectuer un relevé des pierres restantes. Cette analyse servira plus tard à illustrer l'intégration d'une filière de réemploi, d'autant plus que la plupart des pierres sont démolies, et le reste entreposé comme une simple décoration, sans valeur architecturale³¹². Cette étude permet également de comparer l'utilisation de la pierre bleue dans d'autres logements liégeois.

En élargissant à nouveau l'échelle, ces analyses permettent de visualiser la position du matériau en Wallonie, en anticipant les enjeux futurs liés à la quantité de pierre qui

³⁰⁵ Dejonghe, L., (2007). « Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie ». Ministère de la région wallonne. Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement. 53 pages. En ligne : https://geologie.wallonie.be/files/ressources/geologie/publications/GuideLecture_CarteGeologique_3edition_0708.pdf (Consulté le 16 février 2024).

³⁰⁶ Groessens, E., (1993). « L'origine et l'évolution de l'expression « petit-granit » ». Bulletin de la Société belge de Géologie, T. 102 (3-4), 6 pages (pp. 271-276). En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/102%20-%201993/bsbg_102_1993_p271-276.pdf (Consulté le 3 juillet 2024).

³⁰⁷ Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

³⁰⁸ Evrard, J., (1996). « La Pierre dans l'œuvre de Victor Horta ». AAM Editions. Bruxelles. 123 pages. ISBN 9782871430933

³⁰⁹ Cnudde, C., Harotin, J.J., Majot, J.P. (1990) « Pierres et Marbres de Wallonie » Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles. 184 pages. ISBN 2871430683

³¹⁰ « Feuille de route. Pour une rénovation durable, ambitieuse et efficace des copropriétés ». (2021). Interreg. 80 pages. En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/247671/1/190317-306_ACE_retrofitting_masterplan_4-version_4000dpi.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

³¹¹ Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». Bulletin de l'Institut archéologique liégeois. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

³¹² Echange avec Simon Higny, Architecte de l'Institut Saint-Luc. 29 septembre 2023.

pourra être récupérée et réutilisée. En moyenne, chaque habitation contient 1 m³ de pierre bleue³¹³.

Enfin, il est pertinent d'examiner l'importance actuelle de la pierre bleue belge pour mieux comprendre son rôle dans l'industrie de la construction en Wallonie. À cette fin, les Carrières de la Pierre Bleue Belge, et notamment leur directeur qualité/environnement, Benoit Misonne, contribuent à ce travail. En 2006, dans le cadre d'une démarche d'économie circulaire, Misonne réalise une analyse du matériau à l'aide de l'outil d'analyse de cycle de vie (ACV)³¹⁴. Cela permet d'obtenir diverses informations sur le processus d'exploitation de la pierre bleue belge, incluant l'extraction, la production et le façonnage.

Ces données sont essentielles pour dresser un bilan des pertes, des ventes et de l'énergie consommée à chaque étape. Cette analyse est cruciale car, malgré la politique de « zéro déchet » des carrières, elle montre que des efforts supplémentaires sont nécessaires pour atteindre une véritable circularité.

Le troisième chapitre sert principalement de ressource pour faciliter la transition d'un modèle économique linéaire vers un modèle circulaire. Il est crucial d'anticiper les enjeux qui freinent le réemploi, car ce concept complexe rencontre divers obstacles³¹⁵. Pour mieux comprendre cette transition, il est important de s'appuyer sur un modèle économique de référence. Ainsi, les différentes composantes du Business Model Canvas sont expliquées³¹⁶. C'est sur cette base que le modèle actuel des Carrières de la Pierre Bleue Belge, ainsi que son évolution vers un modèle circulaire, pourront être définis.

Bien que cela puisse sembler complexe, l'éco-innovation progresse constamment, avec de plus en plus d'entreprises qui l'adoptent³¹⁷. En s'inspirant de ces exemples, il devient plus facile de mettre en place une filière de réemploi, car la collaboration autour d'un objectif commun rend le processus plus efficace.

Le Business Model actuel des Carrières de la Pierre Bleue Belge est donc expliqué à travers les huit composantes du modèle de référence, facilitant ainsi l'interprétation de l'entreprise : la valeur, la clientèle, les activités et les ressources. La partie « viabilité » n'est pas développée, car elle sort du cadre de la thématique.

Le quatrième chapitre, en tant que conclusion, répond à la question de recherche de ce travail. Sur la base des informations recueillies, il est possible de définir une

³¹³ Entretien avec Benoit Misonne, Directeur qualité-environnement, Les Carrières de la Pierre Bleue Belge. 5 avril 2023.

³¹⁴ Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualite-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

³¹⁵ Seys, S., (2017). « Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction : un meilleur cadre pour le réemploi de produits, pas d'obligation de marquage CE et un système d'évaluation ad hoc ». BBSM. 97 pages. En ligne : <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf> (Consulté le 10 juin 2024).

³¹⁶ Osterwalder, A., Pigneur, Y., (2011). « Business Model Nouvelle génération : Un guide pour visionnaires, révolutionnaires et challengers ». Pearson. Paris. 288 pages. ISBN 978-2744064876

³¹⁷ Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». The Switchers Support Programme. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MAT%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

nouvelle filière de réemploi au sein de l'industrie existante des Carrières de la Pierre Bleue Belge. Cette démarche s'articule en deux étapes.

D'abord, une analyse des contraintes du Business Model actuel des carrières permet d'identifier les points à améliorer pour faciliter la transition vers une économie circulaire. Chaque composante des huit facteurs du modèle est ainsi examinée, et les contraintes sont expliquées. L'objectif n'est pas de critiquer l'entreprise, mais de l'optimiser.

Ensuite, sur la base de ces observations, la filière de réemploi peut être mise en place. Comme mentionné précédemment, cette création repose sur le modèle économique existant. La Maison aux Cariatides sert ici de cas d'étude, depuis la récupération des pierres sur le site de la Faculté d'Architecture jusqu'à leur remise en forme et leur réutilisation.

Certaines étapes s'inspirent de la filière actuelle, ce qui permet d'améliorer le bilan énergétique et de mieux gérer les ressources en supprimant les étapes et les ressources non nécessaires. De plus, la revalorisation de la pierre bleue belge est rendue possible par l'élargissement de la clientèle et des produits proposés. En effet, l'innovation de cette filière de réemploi touche un plus grand nombre de secteurs, y compris les magasins de réemploi, en plus de la clientèle actuelle. Cela permet de diversifier les produits, qui, selon leur état de récupération, deviennent variés.

En conclusion, ce travail a pour objectif de démontrer le potentiel du réemploi de la pierre bleue en Wallonie en développant une nouvelle filière au sein de l'industrie. En analysant ses caractéristiques, son histoire et les défis de sa réutilisation, il révèle des opportunités pour réduire les impacts environnementaux et valoriser un matériau local précieux. Cette démarche promet d'enrichir le secteur de la construction durable tout en préservant le patrimoine architectural régional.

7 FIGURES

Figure 1 : « Evolution des livraisons totales en Wallonie (en milliers T) pour la période 2001-2010 ». Source : Girolimetto, F., Potty, E., (Octobre 2011). « Rapport final de la subvention 2010-2011. Actualisation du SDER ». CPDT. 30 pages. En ligne : https://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pdf/annexe-exploitation_sous-sol.pdf (Consulté le 28 mai 2024).

Figure 2 : « Part des différents secteurs dans les émissions totales ». Source : « Emissions par secteur ». (n. d.) Santé publique Sécurité de la chaîne alimentaire Environnement. En ligne ; <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur> (Consulté le 23 mai 2024).

Figure 3 : « Echelle de Lansink ». Source : « La hiérarchie des modes de traitement des déchets devant les juridictions : de l'incantation à l'application ». (2019). Zero Waste France. En ligne : <https://www.zerowastefrance.org/hierarchie-modes-traitement-dechets-juridictions-jurisprudence-application/> (Consulté le 20 juillet 2024).

Figure 4 : « The Butterfly Diagram ». Source : « The butterfly diagram: visualising the circular economy » (n. d.). Ellen Macarthur Foundation. En ligne : <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram> (Consulté le 29 mai 2024).

Figure 5 : « Les différentes déclinaisons du déchet de construction ». Sources : Bos, M., Trachte, S., et al. (UCL) (2021). « Projet Feder BBSM : rapport scientifique WP3/4 – Analyse des filières existantes en RBC ». BBSM. 159 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/257593> (Consulté le 28 mars 2024).

Figure 6 : « Comparative scheme between linear and circular economy ». Kirchherr, J., (2017). « Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions ». Resources, Conservation and Recycling. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

Figure 7 : « le triptyque du développement durable ». Source : Bourjac, M., Gouffaud, K., et al. (2021). « Bonnes pratiques pour une conception frugale ». Alliance Sorbonne Université, Université de Technologie Compiègne. 22 pages. En ligne : <https://doi.org/10.34746/aemm-ad45> (Consulté le 20 juillet 2024).

Figure 8 et 9 « Représentations graphiques et iconographiques du projet : Centre pédagogique Le Naturoptère, Sérignan-du-Comtat, Vaucluse »

Figure 10 et 11 « Représentations graphiques et iconographiques du projet : Les Colibres, écohabitat en autopromotion, Forcalquier, Alpes-de-Haute-Provence »

Source : Gauzin-Müller, D., (2020). « Construire Frugal en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». EnvirobatBDM. 28 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2023/01/construire-frugal-en-provence-alpes-cote-dazur.pdf> (Consulté le 18 mars 2024).

Figure 12 : « Connexion entre les facteurs d'un Business Model Canvas ». Source : De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

Figure 13 : « Reasons for using the canvas ». Source : Hanshaw, N., Osterwamder, A., (2015). « The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it. » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

Figure 14 : « Outil de travail : Le Business Model Canvas ». Source : De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages.

Figure 15 : « Processus méthodologique du TFE ». Source : Natan Burton

Figure 16 : « Carte géologique simplifiée et colonne stratigraphique de la Wallonie ». Source : Dejonghe, L., (2011). « La géologie des bassins du Bocq et du Samson ». CWEPSS. 9 pages. En ligne : <https://dipot.ulb.ac.be/dspace/bitstream/2013/154170/1/2011-GeologieBocqSamson.pdf> (Consulté le 21 juillet 2024).

Figure 17 : « Répartition du calcaire carbonifère en Wallonie ». Source : Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

Figure 18 : « Carte de la répartition des carrières extractives en 2006 ». Source : Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages

Figure 19, 20 et 21 : « Graphiques relatifs à l'exploitation des carrières en 2006 ». Source : Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages

Figure 22, 23 et 24 : « Carrière Gauthier & Wincqz, Carrière de Clypot et Carrière Tellier des Prés ». Source : « Notre Histoire » (n. d.). Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/notre-histoire/> (Consulté le 19 juillet 2024).

Figure 25 : « Diagramme du cycle de la roche ». Source : « The Rock Cycle ». Aeronautics and Space Administration.

Figure 26 : « Fiche technique de la pierre bleue belge ». Source : BCCA/COPRO, (2018). « Agrément Technique ATG avec Certification. Pierres naturelles autres : Petit Granit – Pierre Bleue de Belgique ». UBAtc. 6 pages. En ligne : https://api.butgb-ubatc.be/api/public/file/ATGH781F.pdf?_ga=2.127753163.733344050.1681835536-215200005.1681835536 (Consulté le 15 avril 2024).

Figure 27 : « La Maison Saint-Cyr ». Source : Wikipédia

Figure 28 : « L'Hôtel Hannon ». Source : Wikipédia

Figure 29 : « La Maison d'Arthur Nelissen ». Source : Wikipédia

Figure 30 : « Hôtel Tassel ». Source : Wikipédia

Figure 31 : « L'orchestre nationale belge ». Source : Wikipédia

Figure 32 : « La Maison Horta ». Source : Wikipédia

Figure 33 : « Monument au comte Frédéric de Mérode ». Source : Wikipédia

Figure 34 : « La gare des Guillemins ». Source : Wikipédia

Figure 35 : « Les Galeries Royales Sainte-Hubert ». Source : Wikipédia

Figure 36 : « Nombre de carrières, nombre d'emplois directs et production totale du secteur extractif pour les différentes provinces wallonnes en 2002 ». Source : Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d'implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : [https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires en pdf/MFE 03 04/MFE Honorato Cavadas 03 04.pdf](https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires%20en%20pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf) (Consulté le 14 juin 2024).

Figure 37 : « Carte de synthèses des périodes de constructions et transformations – surreprésentation par commune en Belgique en 2001 ». Source : Goosens, L., Thomas, I., Vanneste, D., (2001). « Le logement en Belgique, Enquête socio-économique - Monographie ». Statbel. 223 pages. En ligne : [https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over Statbel FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf](https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over%20Statbel%20FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf) (Consulté le 20 juillet 2024).

Figure 38 : « Vue des établissements industriels de la Belgique ». Source : Toovey, E., (1854). « La société anonyme d'Ougrée à Seraing au milieu du XIX^e Siècle : Un symbole de l'alliance du fer et du charbon, fondement du développement économique de la région liégeoise ». Belgique Industrielle. Bibliothèque Royale Albert 1^{er}, Bruxelles. Planche 110.

Figure 39 : « Vue du quai de la batte à Liège ». Source : « Le quai de la batte à Liège, Des rives animées, le trafic sur la Meuse : reflets de la grande métropole wallonne ». (1906). Le Globe Illustré. Bibliothèque Royale Albert 1^{er}, Bruxelles. Vol. XXI, N°36.

Figure 40 : « Le Bois-du-Luc à Houdeng-Aimeries, 1838-1853 ». Source : Frankignoulle, P., Malherbe, A., Dawance, S., (2001). « Athus, rue d'Ougrée ». Habiter la Ville. Labor, Bruxelles. 2 pages (pp. 78-79). En ligne : <https://hdl.handle.net/2268/130775> (Consulté le 17 juillet 2024).

Figure 41 : « Rue aux Laines, Vue d'un ensemble de façades ». Source : Burniat, P., (2012). « Architecture et construction : Le type de la maison urbaine bruxelloise ». Bruxelles Patrimoines. N°003-004. En ligne : <https://patrimoine.brussels/liens/publications-numeriques/versions-pdf/articles-de-la-revue-bruxelles-patrimoines/numero-3-4/article-3-4-4> (Consulté le 17 juillet 2024).

Figure 42 : « Répartition des logements au sein des 3 Régions de Belge et Répartition des logements entre les 5 Provinces de la Région wallonne ». Source : « Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovation-energetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024)

Figure 43-48 : « Iconographies de fragments en pierre bleue belge sur le site de la Faculté d'architecture, Liège ». Source : Natan Burton

Figure 49 : « Carte représentant le trajet et les repères de la voie du Grand Jonckeu ». Source : Warzée, C., (2014). « Le jardin botanique et la rue Louvrex ». Histoires de Liège. En ligne : <https://histoiresdeliege.wordpress.com/2014/01/28/le-jardin-botanique-et-la-rue-louvrex/> (Consulté le 23 mars 2024).

Figure 50 : « Eglise Notre-Dame à Hamoir ». Source : Wikipédia

Figure 51 : « Eglise Saint-Antoine de Padoue à Verviers ». Source : Wikipédia

Figure 52, 53 et 54 : « Représentation graphique des éléments d'ornementation en façade de la Maison aux cariatides ». Source : Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

Figure 55 et 56 : « Représentation graphique de l'organisation spatiale du RDC et R+1 et détail d'ornementation de l'intérieur de la Maison aux cariatides ». Source : Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

Figure 57 et 58 : « Photographies de la Maison aux cariatides à la fin du XIXe siècle ». Source : Dandoy, A., (n.d.). Liège, Centre d'ARchives et de Documentation de la C.R.M.S.F., fonds de la Ville de Liège, iconothèque, dossier "rue Louvrex"

Figure 59 : « Cartographie de l'âge du bâti à Liège ». Source : « Age du bâti ». (2015). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communaux/urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/age-du-bati> (Consulté le 22 juillet 2024)

Figure 60 : « Analyse du Cycle de vie du « Pavé patrimoine » ». Source : Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

Figure 61 : « Bilan matière durant l'étape de découverte selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2022 ». Source : Natan Burton

Figure 62 : « Schéma représentatif de l'extraction et du travail de la roche ». Source : « Notre métier ». (n.d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

Figure 63 : « Bilan matière durant l'étape d'extraction selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 64 et 65 : « Photographies des outils des outils de sciage depuis la carrière de Clypot ». Source : Natan Burton

Figure 66 : « Bilan matière durant l'étape d'équarrissage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 67 : « Bilan matière durant l'étape de sciage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 68 : « Répartition de la matière après l'étape de sciage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 69, 70 et 71 : « Techniques de façonnage de la pierre bleue ». Source : Natan Burton

Figure 72 : « Bilan matière durant les étapes de surfaçage et de débitage selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 73 : « Les différentes gammes de finition et de texture des pierres bleues des carrières de la Pierre Bleue Belge ». Source : « Nos Finitions et Textures ». (n. d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

Figure 74 : « Gestion des déchets d'emballages des pavés patrimoine ». Source : Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

Figure 75 : « Consommation de ressources naturelles énergétiques et indicateurs énergétiques pour les sections : 15x15x5cm et 22x11x8cm ». Source : Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

Figure 76 : « Représentation du trajet des eaux d'exhaure pour une réutilisation dans la carrière du Clypot ». Source : « Valorisation de nos eaux d'exhaure » (n. d.). Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/valorisation-des-eaux-dexhaure-de-notre-site-du-clypot/> (Consulté le 18 juillet 2024).

Figure 77 : « Tableau représentatif des possibilités de dimensionnements standards de la pierre bleue selon son usage suivant le NIT 220 ». Source : Natan Burton.

Figure 78 : « Bilan de vente de pierre bleue belge de type « fini » sur le marché selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Tableau de l'inventaire et % des revenus des Carrières de la Pierre Bleue Belge en 2022 » ». Source : Natan Burton

Figure 79 : « Bilan matière sur l'ensemble des étapes d'exploitation de la pbb selon le fichier Excel en provenance des carrières de la Pierre Bleue Belge « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge » sur l'année 2002-2023 ». Source : Natan Burton

Figure 80 : « Bila sur la consommation énergétique lors de l'exploitation de la pbb selon Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

Source : Natan Burton

Figure 81 : « produits neufs, recyclés, recyclables, réutilisés, réutilisables : les impacts environnementaux ». Source : Douguet, E., (2023). « Recyclage des matériaux : une solution complémentaire au réemploi ». Brux. Envir. 91 pages. Fichier Powerpoint.

Figure 82 : « Modèle du système linéaire ». Source : « Economie circulaire : de quoi parle-t-on ? ». (2024). Avise. Say Yes. En ligne : <https://www.avise.org/economie-circulaire-de-quoi-parle-t> (Consulté le 24 juillet 2024).

Figure 83 : « Trois formes d'éco-innovation ». Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». The Switchers Support Programme. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MATI%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

Figure 84 : « Comparative scheme between linear and circular economy ». Kirchherr, J., (2017). « Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions ». Resources, Conservation and Recycling. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

8 BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages

Ahuja, S., Prabhu, J., Radjou, N., (2013). « L'innovation Jugaad : Redevenons ingénieurs ». Diatino. Paris. 384 pages. ISBN 2354560966

Aubry, F., Vandebreden, J., Vanlaethem, F., (2006). « Art nouveau, art déco & modernisme ». Racine. Bruxelles. 408 pages. ISBN 2873864672

Beslay, C., Zélém, M.C., (2015). « Sociologie de l'énergie : Gouvernance et pratiques ». Cnrs. France. 476 pages. ISBN 2271085152

Bouvy Coupery de Sainte Georges-Neys, M-L., (1999). « A la gloire des bulldozers ». Maisons d'Hier et d'Aujourd'hui. N°121. 4 pages (pp. 36-39).

Brown, T. (2008). « Change by Design : How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation » HarperBusiness. New York. 272 pages. ISBN 978-0061766084

« Bulletin de la commission royale des monuments, sites et fouilles ». (2020). C.R.M.S.F. Liège. T. 33. 152 pages. ISBN : 978-2-9601866-5-9

Castermans, A., (1867). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique, construites depuis 1830 jusqu'à nos jours, représentées en plans, élévations, coupes et détails intérieurs et extérieurs, mesurées et dessinées ». Librairie Polytechnique, Baudry Editeur. Liège, Paris. Vol 1-2. n. d. pages.

Cnudde, C., Harotin, J.J., Majot, J.P. (1990) « Pierres et Marbres de Wallonie » Archives d'Architecture Moderne, Bruxelles. 184 pages. ISBN 2871430683

Combaz, P., (1895). « La Construction. Principes et applications ». E. Lyon-Claesen, Paris.

Denis, J., Pontille, D., (2022). « Le soin des choses ». La Découverte. Paris. 415 pages. ISBN 9782348064838

Dubois, C., Voituren, S., (2016). « Bruxelles : Art Nouveau ». Racine. Bruxelles. 175 pages. ISBN 978-2-87386-975-5

Evrard, J., (1996). « La Pierre dans l'œuvre de Victor Horta ». AAM Editions. Bruxelles. 123 pages. ISBN 9782871430933

Gobert, T., (1976). « Liège à travers les âges : les rues à Liège ». Culture et Civilisation. Bruxelles. T.VII (L-Ma). 571 pages (pp. 335-337).

Haesenne-Peremans, N., (1981). « La pauvreté dans la région liégeoise à l'aube de la révolution industrielle : Un siècle de tensions sociales (1730-1830). Presses universitaires de Liège. Liège. 509 pages (pp. 7-20). ISBN : 9791036538117

Hossler, M., Jouanne, A., Murat, O., (2014). « Faire du marketing sur les réseaux sociaux : 12 modules pour construire sa stratégie social média ». Eyrolles. Paris. 314 pages. ISBN 978-2212556940

Kempf, A., Utard, J-M., (1992). « Communication d'entreprise et publicité ». Technipus. 22 pages. ISBN 2.85232.734.1

Lebens, E., (1881). « L'architecture à Liège, dans Liège : Histoire – Arts – Lettres – Sciences – Industries – Travaux publics ». Imp & lith de J. Daxhelet. Liège. 14 pages (pp. 256-269).

Madec, P., (2021). « Mieux avec moins, architecture et frugalité pour la paix ». Terre Urbaine. France. 200 pages. ISBN 2491546108

Marchi, C., Tourneur, F., (2002). « Vies de pierres – La pierre ornementale en Belgique – Etat de la question ». Pierres Et Marbres De Wallonie. Belgique. 212 pages. ISBN 2960029402

Mercanti-Guérin, M., Vincent, M., (2016). « Publicité digitale ». Donud. France. 26 pages. ISBN 978-2-10-074364 -3

Merland, M., (2020). « La villa désirée, maison de la villégiature en Basse-Meuse, œuvre de Charles Castermans pour Alfred Baar ». Bulletin de l'Institut archéologique liégeois. T. CXXIV. 38 pages. (pp. 231-268).

Osterwalder, A., Pigneur, Y., (2011). « Business Model Nouvelle génération : Un guide pour visionnaires, révolutionnaires et challengers ». Pearson. Paris. 288 pages. ISBN 978-2744064876

Penrose, E., (2009). « The Theory of the Growth of the Firm ». Oxford University Press. Oxford. 300 pages. ISBN 978-0199573844

Peraudin, G., (2013). « Construire en pierre de taille aujourd'hui ». Presses du Réel. 64 pages. ISBN 9782840666783

Articles, revues et publications scientifiques

Barquin, F., (2001). « La pierre bleue de Belgique dite petit granit d'âge géologique tournaisien ». (2001). Buildwise. Note d'info. Technique N°220, 62 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20220.pdf> (Consulté le 28 juin 2024).

BCCA/COPRO, (2018). « Agrément Technique ATG avec Certification. Pierres naturelles autres : Petit Granit – Pierre Bleue de Belgique ». UBAtc. 6 pages. En ligne : https://api.butgb-ubatc.be/api/public/file/ATGH781F.pdf?_ga=2.127753163.733344050.1681835536-215200005.1681835536 (Consulté le 15 avril 2024).

Belboom, S., Leonard, A., et al. (2015). « L'empreinte environnementale des pierres ornementales ? Pour qui, pourquoi, comment ? » Université de Liège. 22 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/188373/1/SBelboom%20-%20SIM%202015.pdf> (Consulté le 30 mai 2024)

Bellin, J., El-Warraky, N., et al. (2022). « La centricité vie : Les stratégies éprouvées pour réaliser la croissance grâce à la pertinence ». Accenture. 30 pages. En ligne : <https://www.accenture.com/content/dam/accenture/final/markets/north-america/document/Accenture-La-Centricite-Vie.pdf> (Consulté le 10 mai 2024).

Benjilali, M., Zenasni, M., (2022). « L'économie circulaire et le business model classique des entreprises : quelle mutation ? ». Revue internationale d'études économiques et de gestion. Vol 2, N°1. 13 pages. (pp. 125-135). En ligne : <https://doi.org/10.5281/zenodo.6591809> (Consulté le 23 juillet 2024).

Bernaldez, L., Blazquez, G., Pereira, D., Tourneur, F. (2014). « Petit Granit: A Belgian limestone used in heritage, construction and sculpture ». IUGS. 6 pages. En ligne : <https://www.episodes.org/journal/view.html?doi=10.18814/epiugss/2015/v38i2/003> (Consulté le 17 mai 2024).

Billiet, L., Dinaer, L., De Lathauwer, D, et al. (2016). « Matériaux de construction durable, les dernières nouveautés. ». Brux. Envir. 146 pages. En ligne : https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/PRES_160129_SEM12_MateriauxDurable_FR.pdf (Consulté le 10 mars 2024).

Bornard, F., Gaujard, C., (2016). « Imaginer des scénarios pour donner du sens à sa vision du futur ». Entreprendre & Innover. Vol 3, N°30. 10 pages. En ligne : <https://www.cairn.info/revue-entreprendre-et-innover-2016-3-page-7.htm> (Consulté le 25 juin 2024).

Bornarel, A., Gauzin-Müller, D., Madec, P., (2018). « Manifeste pour une frugalité heureuse & créative ». Frugalité heureuse & créative. 4 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2021/11/le-Manifeste.pdf> (Consulté le 5 février 2024).

Bornarel, A., Gauzin-Müller, D., Madec, P., (2020) « Vers une architecture frugale ». Manifeste de la frugalité heureuse et créative. 3 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2022/03/so.pdf> (Consulté le 13 avril 2024).

Bos, M., Trachte, S., et al. (UCL) (2021). « Projet Feder BBSM : rapport scientifique WP3/4 – Analyse des filières existantes en RBC ». BBSM. 159 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/257593> (Consulté le 28 mars 2024)

Bottani-Dechaud, L., Ghyoot, M., et al. (2023). « Faciliter la circulation des matériaux de réemploi : Retour sur 5 années de méthodes et d'expérimentations en Europe du Nord-Ouest. ». Interreg FCRBE. 51 pages. En ligne : https://vb.nweurope.eu/media/21450/fcrbe_final-report_vf.pdf (Consulté le 27 mars 2024).

Brechet, Y., (2013). « La science des matériaux : du matériau de rencontre au matériau sur mesure ». La Lettre du Collège de France. N°36. 7 pages. En ligne : <https://doi.org/10.4000/lettre-cdf.1612> (Consulté le 18 mai 2024).

Burre-Espagnou, M., Coppens, M., et al. (2016). « Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction ». ADEME. 149 pages. En ligne : <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-27317-freins-leviers-reemploi-btp.pdf> (Consulté le 28 mars 2024).

Carre, N., (2015). « L'étude de votre marché : vos clients et vos concurrents ». CCI Entreprendre. 30 pages. En ligne : https://dordogne.cci.fr/wp-content/uploads/2015/07/Cci.fr_2015_Page_Etude-de-votre-march%C3%A9.pdf (Consulté le 26 mars 2024).

« Chapitre 4 : Analyse du bâti » (2014). SPW. 70 pages. En ligne : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/guide-de-la-renovationenergetique-et-durable-des-logements-en-wallonie-chapitre-4-analyse-du-bati.pdf?ID=42042> (Consulté le 20 avril 2024).

Chevalier, P., Poty, E., (2004). « L'activité extractive en Wallonie : situation actuelle et perspectives ». Laboratoire d'analyses litho et zoo stratigraphiques. Jambes. 85 pages.

« Chiffres clés du logement en Wallonie ». (2021). Wallonie logement CEHD. 226 pages. En ligne : <https://www.cehd.be/media/1304/rapport-chiffres-cl%C3%A9s-2021-final.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

CIMAYA, (2021). « L'essentiel 2021 : Les valeurs du groupe Eiffage pour innover et inventer un avenir à taille humaine ». Eiffage. 28 pages. En ligne : <https://www.eiffageconstruction.com/files/live/sites/construction-v2/files/Documents/documents-referance/2021/EiffageConstruction-Essentiel2021.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

« Classifications des roches ». (2005). COPRO asbl, BCCA, UBAtc. 10 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/normes/doc/PTV844FR.pdf> (Consulté le 16 février 2024).

Combe, E., (2019). « Mieux comprendre les règles de la concurrence : Guide à destination des PME ». Autorité de la concurrence. 46 pages. En ligne : <https://www.autoritedelaconcurrence.fr/sites/default/files/2020-01/guide-pme.pdf> (Consulté le 15 juillet 2024).

« Comment parvenir à une économie circulaire d'ici 2050 ? ». (2024). Parlement européen. 6 pages. En ligne : https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2021/2/story/20210128STO96607/20210128STO96607_fr.pdf (Consulté le 24 juillet 2024).

« Commission européenne : Fiche d'information ». (2015). Commission européenne. 8 pages. En ligne : https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/document/print/fr/memo_15_6204/MEMO_15_6204_FR.pdf (Consulté le 25 juin 2024).

Cortés Garcia, E., (Rotor) (2021). « FutuREuse - Entre patine et peau neuve : Les traitements de surface des matériaux de réemploi ». FutuREuse. 18 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15810/bookletfcrbefr-3_traitements_surfaces.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Cusin, F., (2006). « Relations marchandes et esprit d'entreprise : la construction sociale de la confiance ». Revue Interventions économiques. En ligne : <https://doi.org/10.4000/interventionseconomiques.766> (Consulté le 25 mars 2024).

Dagrain, F., Grégoire, C., Kheffi, A., et al. (2003). « Exemples d'utilisation des techniques avancées pour améliorer l'exploitation du gisement aux Carrières du Clypot ». Carrières du Clypot, Université Catholique de Louvain, Faculté Polytechnique de Mons. 10 pages. En ligne : https://www.researchgate.net/publication/269691268_Exemples_d'utilisation_des_tec_hniques_avancees_pour_ameliorer_l'exploitation_du_gisement_aux_Carrieres_du_Clypot#fullTextFileContent (Consulté le 20 juin 2024).

Dejonghe, L., (2007). « Guide de lecture des cartes géologiques de Wallonie ». Ministère de la région wallonne. Direction générale des ressources naturelles et de l'environnement. 53 pages. En ligne : https://geologie.wallonie.be/files/ressources/geologie/publications/GuideLecture_CarteGeologique_3edition_0708.pdf (Consulté le 16 février 2024).

De Keyser, E., (1991). « Notice sur Henri Puvrez ». Académie Royale de Belgique. 29 pages (pp. 145-174). En ligne : https://marcilhacgalerie.com/marci_data/upload/files/PUVREZHenriARB_199148613.pdf (Consulté le 17 mai 2024).

Delloue, S., De Harlez, N., Frankignoulle, P., (2006). « Historique du parc du Jardin Botanique (Liège) ». ASBL Homme et Ville. 19 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/133717/1/Jardin%20Botanique.pdf> (Consulté le 23 mai 2024).

Département de l'Urbanisme de la Ville de Liège, Service de l'Aménagement., (2016). « Les éléments décoratifs des façades : Guide des bonnes pratiques ». Ville de Liège. Liège. 44 pages. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communaux/urbanisme/telechargements/guide-elements-decoratifs-facade.pdf> (Consulté le 24 juillet 2024).

Département expertises structures et géotechnique, (2020). « Memento technique 0.11 : Produits de construction, Marquage CE (réglementaire) ». SPW Mobilité infrastructures. 5 pages. En ligne : http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/memo_0_11_2020_FT_PBR.pdf (Consulté le 10 juillet 2024).

Dethier, P., (2014). « Pierres Wallonnes & Marchés publics ». Pierres et Marbres Wallonie. 16 pages. En ligne : https://www.federationpierrebleue.be/app/download/9794598524/PMW-circulaire_marcourt.pdf?t=1403798916 (Consulté le 10 mai 2024).

Deweerd, M., (Buildwise), Mertens, M., (Brux. Envir.), (2020). « Un guide pour l'identification du potentiel de réemploi des produits de construction ». Interreg FCRBE. En ligne : https://vb.nweurope.eu/media/10130/fr-fcrbe_wpt2_d12_un_guide_pour_lidentification_du_potentiel_de_r%C3%A9emploi_d_es_produits_de_construction.pdf (Consulté le 16 avril 2024).

Douguet, E., (Buildwise) Wagner, F., (CSTB) (2021). « FutuREuse - Les impacts environnementaux du réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 23 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15808/bookletfcrbefr-1_impact_environmental.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Droeven, E., Dubois, C., Feltz, C., (2007) « Paysages patrimoniaux en Wallonie (Belgique), analyse par approche des paysages témoins ». Cahier d'économie et sociologie rurales. N°84-85. 29 pages (pp. 216-243). En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/41219/1/2007_CESR_84-85_216-243_Droeven-et-al_PaysageTemoins.pdf (Consulté le 7 mai 2024).

Engels, P., Legrain, X., (2007). « Légende de la Carte Numérique des Sols de Wallonie (Belgique) sur base de la légende originale de la Carte des sols de la Belgique de l'IRSIA à 1/20.000 ». Faculté universitaire des Sciences agronomiques de Gembloux. Laboratoire de Géopédologie. Version 2. 75 pages. En ligne : https://www.fichierologique.be/resources/LCNSW_V2.pdf (Consulté le 3 juin 2024).

« Etude de nouveaux matériaux à haute valeur ajoutée issus de la biomasse pour une application dans le développement industriel ». (2020). Biocore. Interreg. 47 pages. En ligne : https://www.orhi-poctefa.eu/wp-content/uploads/2021/04/synthFRV2_etude-de-nuevos-materiales-para-aplicaciones-industriales.pdf (Consulté le 26 juillet 2024).

« Feuille de route. Pour une rénovation durable, ambitieuse et efficace des copropriétés ». (2021). Interreg. 80 pages. En ligne : https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/247671/1/190317-306_ACE_retrofitting_masterplan_4-version_4000dpi.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

« Fiche de déclaration environnementale et sanitaire de produit : Knauf Insulation : laine de verre ECOSE TP 138 100 mm ». (2017). Knauf Insulation. 19 pages. En ligne : https://www.knaufinsulation.com/sites/ki_com/files/uploads/FDES_NF%20EN%2015804%20TP138%20100mm%20step3.pdf (Consulté le 5 août 2024).

« Foire aux Questions PEB 2010 – 2015 ». (2022). Wallonie énergie SPW. 156 pages. En ligne : https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/faq-peb_decembre-2022_221224.pdf?ID=59499 (Consulté le 17 mai 2024).

Foulquier, L., (2009). « La Métamorphose des pierres. Les réemplois, entre rebut et souvenir ». Histoire de l'art et anthropologie. Vol 1. En ligne : <https://doi.org/10.4000/actesbranly.252> (Consulté le 20 avril 2024).

Gaspard, G., Ghyoot, M., Naval, S., (2022). « Maximiser la récupération des matériaux réutilisables ». Rotor, Brux. Envir. 16 pages. En ligne : https://opalis.eu/sites/default/files/2022-02/Rotor-en-Maximiser_la_recuperation-2022.pdf (Consulté le 27 mars 2024).

Gauzin-Müller, D., (2020). « Construire Frugal en Provence-Alpes-Côte d'Azur ». EnvirobatBDM. 28 pages. En ligne : <https://frugalite.org/wp-content/uploads/2023/01/construire-frugal-en-provence-alpes-cote-dazur.pdf> (Consulté le 18 mars 2024).

Geerts, G., Ghyoot, M., Naval, S., (ROTOR), (2020). « Un guide pour faciliter l'intégration de matériaux de construction de réemploi dans des projets de grande envergure et des marchés publics ». https://developpementdurable.wallonie.be/sites/dd/files/2021-03/20200331_fcrbe_wpt3_d1_1_un_guide_pour_l_integracion_de_mat%C3%A9riaux_de_construction_de_reemploi.pdf (Consulté le 20 avril 2024).

Ghyoot, M., (2017). « Objectif réemploi : Pistes d'action pour développer le secteur du réemploi des éléments de construction en Région de Bruxelles-Capitale ». BBSM. 70 pages. En ligne : https://rotordb.org/sites/default/files/2019-10/OBJECTIF_REEMPLOI.pdf (Consulté le 15 mars 2024).

Girolimetto, F., Potty, E., (Octobre 2011). « Rapport final de la subvention 2010-2011. Actualisation du SDER ». CPDT. 30 pages. En ligne : https://cpdt.wallonie.be/sites/default/files/pdf/annexe-exploitation_sous-sol.pdf (Consulté le 28 mai 2024).

Gobbo, E., (Brux. Envir.) (2021). « FutuREuse - Construire une feuille de route : Stratégie pour encourager le réemploi dans le secteur de la construction ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15813/bookletfcrbefr-5_feuille_de_route.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Gobbo, E., (Brux. Envir.) (2021). « FutuREuse - La ville comme réserve de matériaux : Comprendre les études de gisement urbain ». Interreg NW Europe FCRBE. 32 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15811/bookletfcrbefr-6_metabolisme_urbain.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Goossens, L., Thomas, I., Vanneste, D., (2001). « Enquête socio-économique 2001. Monographies. Le logement en Belgique ». Statbel. 223 pages. En ligne : [https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over Statbel FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf](https://statbel.fgov.be/sites/default/files/Over%20Statbel%20FR/Enquete%20SocEco%202001%20-%20Monographie%202%20Le%20logement%20en%20Belgique.pdf) (Consulté le 20 juillet 2024).

Gosselin, G., (2007). « Chapitre 5 : l'exploitation des ressources minérales du sol ». Etat de l'environnement wallon. 7 pages. En ligne : http://etat.environnement.wallonie.be/files/live/sites/eew/files/Publications/Rapport%20analytique%202006-2007/Chap05/2_ExploitationMineralesSousSol/RES_MIN_01.pdf (Consulté le 20 février 2024).

Groessens, E. (1987). "Belgian stone, a review". Bull de la Soc belge de Géol hors-série Centenaire : 75–87. En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/096%20-%201987/bsbg_96_1987_extra-p075-088.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

Groessens, E., (1992). « L'industrie des carrières et de roches ornementales en Belgique ». Mines et Carrières. N° 74, 5 pages (pp. 91-95).

Groessens, E., (1993). « L'origine et l'évolution de l'expression « petit-granit » ». Bulletin de la Société belge de Géologie, T. 102 (3-4), 6 pages (pp. 271-276). En ligne : https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/bulletin-de-la-societe-belge-de-geologie/102%20-%201993/bsbg_102_1993_p271-276.pdf (Consulté le 3 juillet 2024).

Groessens, E., (2004). « Le calcaire de Meuse, un matériau belge exporté depuis les Romains ». Article des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques. In: Carrières et constructions en France et dans les pays limitrophes IV. Actes du 126e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, « Terres et hommes du Sud ». Toulouse, Paris. N° 126-8, 18 pages (pp. 155-172). En ligne : https://www.persee.fr/doc/acths_0000-0001_2004_act_126_4_5021 (Consulté le 3 juillet 2024).

Groessens, E., (2005). « De d'Omalius d'Halloy à la régionalisation de la Belgique. Deux cents ans de cartographie géologique ». Université Catholique de Louvain (UCL), Service géologique de Belgique (IRScNB). 11 pages. En ligne : <https://shs.hal.science/halshs-00005663v2> (Consulté le 14 juin 2024).

Guerrier Dubarle, D., Marchi, C., (2014). « La maison et la pierre ». Pierres & Marbres Wallonie. 41 pages. En ligne : https://www.pierresetmarbres.be/wp-content/uploads/2021/02/pm1305_broch_maison_fr1.pdf (Consulté le 20 mars 2024).

Guerrier Dubarle, D., Marchi, C., (2011). « Les carnets de la Pierre : La pierre et l'espace public ». Pierres & Marbres Wallonie. N°7. 20 pages. En ligne : https://www.pierresetmarbres.be/wp-content/uploads/2021/02/pm1002_ml09_c07_ville_sols_fr1.pdf (Consulté le 20 mars 2024).

Gueur, S., (2019). « Pierre Bleue Belge : Etude des émissions de CO2 ». Sense Engineering SPRL. 46 pages.

Gulinck, M., (1958). « Atlas de Belgique. Carrières ». Académie royale de Belgique. Comité National de Géographie. Planche 39. 27 pages. En ligne : https://www.atlas-belgique.be/atlas_papier/atlas1e/Atlas1-FR-39.PDF (Consulté le 11 mai 2024).

Hanemaaijer, A., Hekkert, M., et al. (2017). « Circular economy : Measuring innovation in the product chain ». PBL Netherlands Environmental Assessment Agency. 46 pages. En ligne : <https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2016-circular-economy-measuring-innovation-in-product-chains-2544.pdf> (Consulté le 2 février 2024).

Hanshaw, N., Osterwamder, A., (2015). « The Business Model Canvas : Why and how organizations around the world adopt it. » Strategyzer. 27 pages. En ligne : https://s3.amazonaws.com/strategyzer/assets/research_report.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

Hradil, P., (2014). « Barriers and opportunities of structural element re-use ». VTT. 45 pages. En ligne : <https://publications.vtt.fi/julkaisut/muut/2014/VTT-R-01363-14.pdf> (Consulté le 27 mars 2024).

Kirchherr, J., (2017). « Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions ». Resources, Conservation and Recycling. Vol 127. 12 pages (pp. 221-232). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005> (Consulté le 29 mai 2024).

« Le choix judicieux des matériaux : A quoi faire attention ? Info-fiches éco-construction pour particuliers ». Brux Envir. 6 pages. En ligne : https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/IF_Eco_construction_MA_T13_Part_FR.pdf (Consulté le 20 juin 2024).

Leclercq, C., (2016). « Paul Du Bois, par Catherine Leclercq ». Académie Royale de Belgique. 12 pages. (pp. 124-134). En ligne : https://www.academieroyale.be/Academie/documents/Annuaire_2016_Dubois24024.pdf (Consulté le 24 mai 2024).

« L'économie circulaire, pour une Europe compétitive ». (2015). Ellen Macarthur Foundation, Sun, McKinsey Center for Business and Environment. 10 pages. En ligne : https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Note-de-Synthese_FR_Growth-Within.pdf (Consulté le 23 mai 2024).

Lekane, M., (2017) « Made in Longdoz. Métamorphoses d'un quartier industriel. Dossier Pédagogique ». Maison de la métallurgie et de l'industrie de Liège. 40 pages. En ligne : https://www.embarcaderedusavoir.uliege.be/upload/docs/application/pdf/2020-09/dp_mmil_made-in-longdoz.pdf (Consulté le 17 juillet 2024).

« Le pacte vert pour l'Europe ». (2019). Commission européenne. 28 pages. En ligne : https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:b828d165-1c22-11ea-8c1f-01aa75ed71a1.0022.02/DOC_1&format=PDF (Consulté le 20 juin 2024).

« Les carrières en Wallonie : un monde à redécouvrir ». (2010). SPW, Direction générale opérationnelle de l'agriculture, des ressources naturelles et de l'environnement. 133 pages. En ligne : <http://environnement.wallonie.be/publi/dppgss/carrieres.pdf> (Consulté le 9 mai 2024).

« Les ressources du sol belge en matières utiles. Annexe à la légende générale de la carte géologique détaillée de la Belgique ». (1929). Annales des Mines de Belgique. T.XXX. 25 pages (pp. 39-79). En ligne : <https://biblio.naturalsciences.be/rbins-publications/annales-des-mines-de-belgiques/1929%20ADM/annales-des-mines-livraison-3-part-1.pdf> (Consulté le 20 mars 2024).

« IV. L'expansion démographique du XIXème siècle ». (2016). Connaitre La Wallonie. 22 pages (pp.139-158) En ligne : https://connaitrelawallonie.wallonie.be/sites/wallonie/files/livres/fichiers/wph_histoire_tii_p139-158.pdf (Consulté le 22 juillet 2024).

Lima, M., & Baudier, P. (2017). « Business model canvas acceptance among French entrepreneurship students: Principles for enhancing innovation artefacts in business education ». Journal of Innovation Economics & Management. Vol 2, N°23. 25 pages (pp.159-183). En ligne : <https://www.cairn.info/revue-journal-of-innovation-economics-2017-2-page-159.htm?ref=doi> (Consulté le 23 juin 2024).

« L'industrie extractive et transformatrice de Belgique. Un maillon essentiel au bon fonctionnement de l'activité économique de notre pays ». (2014). Fediex. 2 pages. En ligne : <https://www.fediex.be/upload/brochure-lindustrie-extractive-et-transformatrice-belgique-un-maillon-essentiel-au-bon-fonctionnement-lactivite-economique-notre-pays--fediex-9ybu7f.pdf> (Consulté le 11 mai 2024).

Micaëlli, J.P., (2016). « Comprendre l'innovation frugale : le diptyque proposé par Navi Radjou et ses co-auteurs ». Innovations. Vol 51, N°3. 10 pages (pp 95-104). En ligne : <https://doi.org/10.3917/inno.051.0095> (Consulté le 18 mars 2024).

Misonne, B., (2006), « Pierre Bleue de Belgique – ACV & FDES pierre naturelle belge ». Laboratoire génie chimique, Pierre Bleue Belge. 43 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/38095919/benoit-misonne-directeur-qualitac-saccuritac-environnement-avnir> (Consulté le 17 juin 2024).

Misonne, B., (2012). « Déclaration environnementale et sanitaire : Pavé Patrimoine en pierre bleue extraite des Carrières de la Pierre Bleue Belge SA – site de Neufvilles ». Pierre Bleue Belge. 25 pages. En ligne : <https://www.yumpu.com/fr/document/read/16577407/pave-patrimoine-declaration-> (Consulté le 22 juin 2024).

Moles, B., Morel, S., (Salvo) (2021). «FutuREuse - Réemploi is the new black : Comment les matériaux de réemploi ont investi les boutiques de haute-couture ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15814/bookletfcrbefr7_mode_r%C3%A9emploi.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Morris, M., Schindehutte, M., & Allen, J. (2005). « The entrepreneur's business model: Toward a unified perspective ». Journal of Business Research. Vol 58, N°6. 10 pages (pp.726–735). En ligne : <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2003.11.001> (Consulté le 28 mai 2024).

Mosangini, G., Tunçer, B., (2020). « Les stratégies d'entreprises en matière d'économie circulaire : Cadre conceptuel pour guider le développement de modèles d'affaires durables ». The Switchers Support Programme. 29 pages. En ligne : <https://www.theswitchers.eu/wp-content/uploads/2020/06/STRAT%C3%89GIES-D%E2%80%99ENTREPRISES-EN-MATI%C3%88RE-D%E2%80%99%C3%89CONOMIE-CIRCULAIRE.pdf> (Consulté le 20 juillet 2024).

Nardot, C., (2000). « Fidélisation des clients ». Revue française de gestion. 2 pages. En ligne : https://creg.ac-versailles.fr/IMG/pdf/la_fidelisation_des_clients.pdf (Consulté le 5 juillet 2024).

Nasseredine, M., (CSTB) Poncelet, F., (Buildwise) (2021). « FutuREuse - Evaluer la performance technique des matériaux de construction de réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 26 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15812/bookletfcrbefr2_evaluation_performances.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Naval, S., (Rotor) (2021). « FutuREuse - Produit ou déchet : Critères pour le réemploi ». Interreg N-W Europe FCRBE. 22 pages. En ligne : https://www.nweurope.eu/media/15809/bookletfcrbefr-4_produit_dechet.pdf (Consulté le 28 mars 2024)

Normant, E., (2022). « Nos solutions pour l'économie circulaire ». Saint-Gobain. 54 pages. En ligne : <https://www.saint-gobain.com/sites/saint-gobain.com/files/media/document/Economie%20circulaire%20SG%202022.pdf> (Consulté le 26 juillet 2024).

« Nouveau business modèle pour l'économie circulaire ». (2018). Signify. 8 pages. En ligne : <https://www.assets.signify.com/is/content/Signify/Assets/signify/netherlands/20201113-nouveau-business-modeles-pour-economie-circulaire.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

« Nouveau plan d'action pour une économie circulaire ». (2021). Parlement européen. 2 pages. En ligne : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2021/679066/EPRS_ATA\(2021\)679066_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/ATAG/2021/679066/EPRS_ATA(2021)679066_FR.pdf) (Consulté le 14 mars 2024).

Ohliger, T., (2017). « Changement climatique et environnement ». Parlement Européen. 5 pages. En ligne : [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050402/04_A_FT\(2013\)050402_FR.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/fiches_techniques/2013/050402/04_A_FT(2013)050402_FR.pdf) (Consulté le 25 mai 2024).

Pacyna, D., (2006). « Collecte, diffusion et utilisation de l'information relative à la géologie en Région wallonne : la carte géologique et ses thématiques ». Géologie de la France. N°1-2. 4 pages (pp. 115-118). En ligne : <http://geolfrance.brgm.fr/sites/default/files/upload/documents/gf18-1-2006.pdf> (Consulté le 10 mai 2024).

Petel, M., (2018). « La nature : d'un objet d'appropriation à un sujet de droit. Réflexions pour un nouveau modèle de société ». Revue interdisciplinaire d'études juridiques. Vol 80. 269 pages (pp. 207-239). En ligne : <https://doi.org/10.3917/riej.080.0207> (Consulté le 9 mai 2024).

Péters, A., Pirot, P., Xhayet, G., (2014). « Liège avant la Grande Guerre ». Province de Liège. 9 pages. En ligne : <https://www.provincedeliege.be/sites/default/files/media/524/EPL%20-%20Dossier%2014-18%20-%2006%20-%20Li%C3%A8ge%20avant%20la%20Grande%20Guerre.pdf> (Consulté le 22 juillet 2024).

« Pierres naturelles ». (1997). Buildwise. Note d'info. Technique N°205. 144 pages. En ligne : <http://qc.spw.wallonie.be/fr/qualiroutes/doc/NIT%20205.pdf> (Consulté le 25 juillet 2024).

« Pierres naturelles : Clauses pour marchés publics responsables ». (2018). SPW. 16 pages. En ligne : [https://marchespublics.wallonie.be/files/March%C3%A9s%20publics%20responsables/pierres%20naturelles-mpr%20-%20finale\(1\).pdf](https://marchespublics.wallonie.be/files/March%C3%A9s%20publics%20responsables/pierres%20naturelles-mpr%20-%20finale(1).pdf) (Consulté le 14 juillet 2024).

Poncelet, F., Vrijders, J., (2021). « Fiche produit-application : briques de terre cuite destinées à être réemployées en parement ». BBSM. 43 pages. En ligne : <annexe-17-WP6-fiche-produit-application-briques-de-terre-cuite-parement.pdf> (bbsm.brussels) (Consulté le 15 mai 2024)

Poncelet, F., Vrijders, J., (2021). « Fiche produit-application : parquets en bois massif destinés à être réemployés en revêtements de sol intérieur ». BBSM. 33 pages. En ligne : <BBSM-WP6-Fiche-produit-application-Parquet-en-bois-massif-de-reemploi-VF-1.pdf> (Consulté le 15 mai 2024)

Poty, E., (2012). « Cours Géologie. 1^{er} bachelier en sciences géologiques. 2^{ème} bachelier en sciences géographiques ». Département de géologie. Université de Liège. 150 pages. En ligne : <https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/111399/1/Cours%20de%20g%C3%A9ologie%202012%20E.POTY.pdf> (Consulté le 17 février 2024).

« Priorisation des matériaux de réemploi à intégrer dans le cahier des charges type bâtiments 2022 (CCTB 2022) et prescription de recommandations dans la perspective du réemploi et de promotion de la construction/rénovation durable ». (2019). SPW. 68 pages. En ligne : https://developpementdurable.wallonie.be/sites/default/files/2021-03/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL%20sans%20annexe-avec%20logo.pdf (Consulté le 6 juin 2024)

Rodriguez, J., (2017). « Vendre ou Ne Pas Vendre ? Introduction aux modèles de business (et innovation) pour les organisations artistiques et culturelles ». IETM. 52 pages. En ligne : https://www.ietm.org/system/files/publications/ietm_vendre_ou_ne_pas_vendre_toolkit_2017_0.pdf (Consulté le 27 juin 2024).

Rotteleur, A., (2018). « Communiqué de presse : Les majors du bâtiment font confiance à l'isolation chanvre Biofib' ». Biofib'. 10 pages. En ligne : <https://www.biofib.com/wp-content/uploads/2018-11-cp-les-majors-font-confiance-au-chanvre.pdf> (Consulté le 26 juillet 2024).

Scott-Smith, Z., (2020). « EU's Renovation Wave Initiative : Delivered with cities and citizens ». Euro cities. 11 pages. En ligne : https://ec.europa.eu/futurium/en/system/files/ged/eurocities-policy-paper-renovation-wave_final_10092020.pdf (Consulté le 20 juin 2024).

Seys, S., (Rotor). (2017). « Vers un dépassement des freins réglementaires au réemploi des éléments de construction : Un meilleur cadre pour le réemploi de produits, pas d'obligation de marquage CE et un système d'évaluation ad hoc ». BBSM. 94 pages. En ligne : <https://www.bbsm.brussels/wp-content/uploads/2018/01/Rotor-WP7-Rapport-final-1.pdf> (Consulté le 10 juin 2024).

« Stratégie réemploi des matériaux de construction : Encourager le réemploi des matériaux de construction en Région de Bruxelles Capitale ». (2015). Alliance Emploi Environnement. En ligne : https://economiecirculaire.wallonie.be/sites/default/files/documents/2019-09_CCTB%20R%C3%A9emploi%20RAPPORT%20FINAL.pdf (Consulté le 20 janvier 2024).

Tennyson, R., (2003). "Manuel du Partenariat". GAIN, IBLF. 71 pages. En ligne : <https://www.thepartneringinitiative.org/wp-content/uploads/2014/07/Partnering-Toolbook-French.pdf> (Consulté le 15 mars 2024).

« Territoire : Sites à réaménager ». (2020). Iweps. 2 pages. En ligne : https://www.iweps.be/wp-content/uploads/2020/03/T008-SITES.REAM_032020_full1.pdf (Consulté le 22 mai 2024).

Tourneur, F., (2019) « Pierre bleue : caractéristiques géologiques, économie locale et applications ». Pierre et Marbres de Wallonie, Pôle de la Pierre, Objectif Blue Stone. 101 pages. En ligne : <https://www.objectifbluestone.eu/wp-content/uploads/2019/10/1.-Francis-TOURNEUR-Introduction.pdf> (Consulté le 15 mai 2024).

« Towards the circular economy : economic and business rationale for an accelerated transition ». (2013). Ellen Macarthur Foundation. 98 pages. En ligne ; <https://emf.thirdlight.com/file/24/xTyQj3oxiYNMO1xTFs9xT5LF3C/Towards%20the%20circular%20economy%20Vol%201%3A%20an%20economic%20and%20business%20rationale%20for%20an%20accelerated%20transition.pdf> (Consulté le 29 juin 2024).

« Trajectoires économiques : 33 entreprises se mobilisent avec 100 engagements ». (2017). Afep. 104 pages. En ligne : https://www.afep.com/uploads/medias/documents/AFEP_100_Engagements_%C3%A9conomie_circulaire_33%20entreprises_1_2_2017.pdf (Consulté le 21 juillet 2024).

« Understanding and Developing Business Models in the Globalisation Era : Key activities ». (2021). Pro BM 2. 10 pages. En ligne : <https://probm2.cti.ugal.ro/site/wp-content/uploads/PDFs-EN/M-8-learn.pdf> (Consulté le 26 mars 2024).

« Vers une économie circulaire dans la construction ». 2020. Buildwise. 36 pages. En ligne : https://www.buildwise.be/media/211jhwgu/contact_fr_01_2020.pdf (Consulté le 15 mars 2024).

Yans, J ., (2019). « Parties 4 : Expériences de développement minier durable en Europe francophone ». Point repère. 17 pages (pp. 113-129). En ligne : <https://geopolis.brussels/wp-content/uploads/2019/06/Gestion-durable-des-ressources-min%C3%A9rales-en-Wallonie-Belgique-singularit%C3%A9s-et-pistes-de-r%C3%A9flexion-YANS-Johan.pdf> (Consulté le 15 mars 2024).

Sitographie

« Age du bâti ». (2015). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communaux/urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/age-du-bati> (Consulté le 22 juillet 2024).

« A propos de la SWDE ». (n. d.). SWDE. En ligne : <https://www.swde.be/fr/propos-de-la-swde> (Consulté le 29 juillet 2024).

Braun, P., (2022). « La Pierre Bleue de Wallonie s'en remet à l'Europe pour assurer son avenir ». Les Echos. En ligne : <https://www.lesechos.fr/pme-regions/actualite-pme/la-pierre-bleue-de-wallonie-sen-remet-a-leurope-pour-assurer-son-avenir-1401042> (Consulté le 14 juillet 2024).

« Carbstone : le premier bloc de béton qui absorbe le CO2 ». (n. d.) Carbstone. En ligne : <https://www.carbstone.be/fr/carbstone-le-premier-bloc-de-beton-qui-absorbe-le-co2/> (Consulté le 25 juillet 2024).

« Emissions par secteur ». (n. d.) Santé publique Sécurité de la chaîne alimentaire Environnement. En ligne ; <https://climat.be/en-belgique/climat-et-emissions/emissions-des-gaz-a-effet-de-serre/emissions-par-secteur> (Consulté le 23 mai 2024).

« FAQ – Quels sont vos délais de livraison ? ». (n. d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/faq/> (Consulté le 17 avril 2024).

« FCRBE – Facilitating the circulation of reclaimed building elements in Northwestern Europe ». (n. d.) Interreg FCRBE. En ligne : <https://vb.nweurope.eu/projects/project-search/fcrbe-facilitating-the-circulation-of-reclaimed-building-elements-in-northwestern-europe/> (Consulté le 16 mai 2024).

« It's time for a circular economy ». (n. d.) Ellen McArthur Foundation. En ligne : <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/> (Consulté le 9 février 2024).

« L'appellation pierre locale ». (n. d.) Pierre Bleue de Wallonie. En ligne : <https://www.pierrebleuedewallonie.be/appellation-pierre-locale/> (Consulté le 20 avril 2024).

« Le Business Model Canvas : un outil incontournable pour tout créateur ». (n. d.) Bpifrance. En ligne : <https://bpifrance-creation.fr/moment-de-vie/business-model-canvas-outil-incontournable-createur> (Consulté le 16 juin 2024).

« Nos engagements ». (n. d.) La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/nos-engagements/> (Consulté le 22 juillet 2024).

« Nos finitions et textures ». (n.d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-gamme/nos-finitions-et-textures/> (Consulté le 17 juin 2024).

« Notre Histoire ». (n. d.) Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/a-propos-de-nous/notre-histoire/> (Consulté le 19 juillet 2024).

« Nous contacter ». (n. d.) La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/contact/> (Consulté le 22 juillet 2024).

« Réemploi des matériaux de construction ». (n. d.) REUSE.brussels. En ligne : [Réemploi du matériel de construction – MANUELS DE DÉMONTAGE AVEC UNE FINALITÉ DE RÉEMPLOI \(reuse.brussels\)](https://reuse.brussels/fr/le-reemploi-du-mat%C3%A9riel-de-construction-%E2%80%93-manuels-de-d%C3%A9montage-avec-une-finalit%C3%A9-de-r%C3%A9emploi) (Consulté le 16 mai 2024).

« The butterfly diagram: visualising the circular economy » (n. d.). Ellen Macarthur Foundation. En ligne : <https://ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy-diagram> (Consulté le 29 mai 2024).

« Trouvez un revendeur ». (n. d.) La Pierre Bleue Belge. En ligne : <https://www.pierrebleuebelge.be/notre-reseau/> (Consulté le 22 juillet 2024).

« Typologie du bâti résidentiel ». (n. d.). Ville de Liège. En ligne : <https://www.liege.be/fr/vie-communale/services-communiaux/urbanisme/cartographie/cartes-de-liege/topologie-du-bati-residentiel> (Consulté le 22 mai 2024).

« Un cycle sans fin de durabilité et de réutilisation ». (n. d.). Carbstone. En ligne : https://www.carbstone.be/fr/?gad_source=1&qclid=CjwKCAjwnei0BhB-EiwAA2xuBoepPez2RxpdkadkIcqBWYOAu1yCZxmu4PeQ_uY2TghmGkB9R0Qyx0CgRcQAvD_BwE (Consulté le 25 juillet 2024).

Mémoires et Thèses

Axundzada, E., (2018). « Comment adapter l’outil Business Model Canvas afin de répondre à la réalité de l’économie collaborative ? ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Jacquemin, A. 163 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:15437> (Consulté le 20 juin 2024).

Bisoffi-Sauve, M., (2016). « Etude des ouvrages maçonnés en Pierre par la méthode des éléments discrets – Caractérisation et modélisation du comportement cohésif des joints ». Université de Bordeaux : Ecole doctorale des Sciences Physiques et de l’Ingénieur spécialité « Mécanique ». Promoteur : Morel, S. 191 pages

Cortese, T., (2017). « Atouts et freins des entrepreneurs seniors selon le Business Model Canvas ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Cornuel, E., Lejeune, C. 249 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/thesis:12134> (Consulté le 25 juillet 2024).

Honorato Cavadas, N., (2004). « Evaluation environnementale des carrières de Pierre Bleue de Wallonie : possibilité d’implantation de technologies plus propres et évaluation de leurs impacts ». Université Libre de Bruxelles. Promoteur : Degrez, M. 123 pages. En ligne : https://mem-envi.ulb.ac.be/Memoires_en_pdf/MFE_03_04/MFE_Honorato_Cavadas_03_04.pdf (Consulté le 14 juin 2024).

Lecossier, A., (2018). « Proposition d'un modèle de la phase amont de l'innovation pour permettre à une entreprise industrielle mature de créer des innovations radicales ». Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers Spécialité « Génie industriel ». Promoteur : Richier, S. 212 pages.

Magnusson S., (2016). « Environmental Perspectives on Urban Material Stocks used in Construction – Granular Materials. ». Lulea University of Technology. 88 pages. En ligne : <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1045893/FULLTEXT02> (Consulté le 27 mars 2024).

Ombeline, T., (2020). « La pierre dans l'architecture contemporaine. Représentations et usages ». Ecole Nationale Supérieure d'Architecture et de Paysage de Bordeaux. Promoteur : Chadouin, O. 123 pages.

Orgilles, C., (2020). « Le modernisme en architecture, une table rase ? ». Université de Liège. Promoteur : Le Coguiec, E., Rouelle, A. 231 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2268.2/9826> (Consulté le 20 mars 2024).

Pestre, T., (2022). « La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments ». Université d'Artois. Promoteur : Antczak, E. 239 pages. En ligne : <https://hal.science/tel-03521752v1/document> (Consulté le 15 juillet 2024).

Trachte, S., (2012). « Matériau, Matière d'Architecture Soutenable. Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable. » Université catholique de Louvain, LOCI. Promoteur : De Herde, A. 398 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2078.1/112728> (Consulté le 18 mai 2024).

Van Lierde, G., (2015). « Développement d'un cluster en économie circulaire : cas de la Région de Bruxelles-Capitale ». Université catholique de Louvain (UCL). Promoteur : Gailly, B. 48 pages. En ligne : <https://dial.uclouvain.be/memoire/ucl/object/thesis:2829> (Consulté le 26 mai 2024).

Villard, C., (2023). « Enjeux d'adoption de l'Analyse en Cycle de Vie (ACV) en phase de conception en agence d'architecture : Analyse à l'échelle nationale et cas d'étude de l'agence B2ai architects ». Université de Liège. Promoteur : De Boissieu, A., Reiter, S. 181 pages. En ligne : <http://hdl.handle.net/2268.2/17862> (Consulté le 24 juin 2024).

Wilekens, E., (2014). « Parallèle des maisons de Bruxelles et des principales villes de la Belgique van de architect Auguste Castermans ». Université de Gand. Promotrice : Van Santvoort, L. 91 pages. En ligne : https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/162/343/RUG01-002162343_2014_0001_AC.pdf (Consulté le 23 juin 2024).

Fichiers Excel et Powerpoint

« ACV & FDES : Feed-back après 8 années d'expérience » (2017). Pierre Bleue Belge. PowerPoint. 37 pages.

De Jonghe, B., (2023). « Cours de Gestion : Le management du projet de construction ». Université de Liège (ULG). 869 pages. Powerpoint.

Misonne, B., (2023). « Synthèse globale de la filière existante de Pierre Bleue Belge ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel

Misonne, B., (2023). « Tableau de l'inventaire et % des revenus des Carrières de la Pierre Bleue Belge en 2022 ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel.

Misonne, B., (2024). « Les corps de métier des carrières de Pierre Bleue Belge ». Pierre Bleue Belge. Fichier Excel