



HAL
open science

Dans quelles mesures le paysagiste peut-il optimiser la consommation de ressources naturelles et la production de déchets à travers l'éco-conception d'espaces publics ?

Tanguy Sorre

► To cite this version:

Tanguy Sorre. Dans quelles mesures le paysagiste peut-il optimiser la consommation de ressources naturelles et la production de déchets à travers l'éco-conception d'espaces publics ?. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-01882447

HAL Id: dumas-01882447

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01882447>

Submitted on 27 Sep 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Année universitaire : 2017 - 2018

Spécialité :

Paysage

Spécialisation (et option éventuelle) :

Paysage : Opérationnalité et Projet (POP)

Mémoire de fin d'études

- d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- de Master de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage
- d'un autre établissement (étudiant arrivé en M2)

Dans quelles mesures le paysagiste peut-il optimiser la consommation de ressources naturelles et la production de déchets à travers l'éco-conception d'espaces publics ?

Par : Tanguy SORRE

Soutenu à Angers le 13 Septembre 2018

Devant le jury composé de :

Présidente : Béatrice PLOTTU

Maître de stage : Kobe VANHAEREN

Enseignant référent : Vincent BOUVIER

Les analyses et les conclusions de ce travail d'étudiant n'engagent que la responsabilité de son auteur et non celle d'AGROCAMPUS OUEST

Ce document est soumis aux conditions d'utilisation
« Paternité - Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification 4.0 France »
disponible en ligne <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.fr>



Fiche de confidentialité et de diffusion du mémoire

Confidentialité

Non Oui si oui : 1 an 5 ans 10 ans

Pendant toute la durée de confidentialité, aucune diffusion du mémoire n'est possible (1).

Date et signature du maître de stage (2) :
(ou de l'étudiant-entrepreneur)

20/09/2018

A la fin de la période de confidentialité, sa diffusion est soumise aux règles ci-dessous (droits d'auteur et autorisation de diffusion par l'enseignant à renseigner).

Droits d'auteur

L'auteur(3) **SORRE Tanguy**

autorise la diffusion de son travail (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire (joindre dans ce cas la fiche de conformité du mémoire numérique et le contrat de diffusion)

(Facultatif) accepte de placer son mémoire sous licence Creative commons CC-By-Nc-Nd (voir Guide du mémoire Chap 1.4 page 6)

Date et signature de l'auteur : le 13 Septembre 2018

Autorisation de diffusion par le responsable de spécialisation ou son représentant

L'enseignant juge le mémoire de qualité suffisante pour être diffusé (immédiatement ou à la fin de la période de confidentialité)

Oui Non

Si non, seul le titre du mémoire apparaîtra dans les bases de données.

Si oui, il autorise

la diffusion papier du mémoire uniquement(4)

la diffusion papier du mémoire et la diffusion électronique du résumé

la diffusion papier et électronique du mémoire

Date et signature de l'enseignant : le 23 Septembre 2018

(1) L'administration, les enseignants et les différents services de documentation d'AGROCAMPUS OUEST s'engagent à respecter cette confidentialité.

(2) Signature et cachet de l'organisme

(3).Auteur = étudiant qui réalise son mémoire de fin d'études

(4) La référence bibliographique (= Nom de l'auteur, titre du mémoire, année de soutenance, diplôme, spécialité et spécialisation/Option)) sera signalée dans les bases de données documentaires sans le résumé

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je tiens à remercier toute l'équipe de BUUR pour son accueil, le cadre de travail qu'elle m'a offert et son partage de connaissances tout au long de mon stage de fin d'études. J'ai apprécié découvrir et travailler au sein d'une équipe dynamique, internationale et provenant de différents horizons, aussi bien du paysage, que de l'architecture ou de l'urbanisme.

Un merci tout particulier à Vincent Bouvier, mon professeur référant, et à Kobe Vanhaeren, mon tuteur de stage, de m'avoir accompagné dans cette dernière étape de ces cinq années d'études passées à Agrocampus Ouest - INHP à Angers. Je remercie également Téodora Capelle pour la relecture du mémoire et ses conseils.

Merci à mes proches pour leur soutien permanent, notamment à ma mère pour la relecture de mes écrits et ses encouragements, et à mon père pour m'avoir fait découvrir et transmis cette passion du paysage.

Enfin, je remercie mes amis de promotion sans qui ces cinq années n'auraient pas été aussi riches et passionnantes.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

ACV :	Analyse du Cycle de Vie
ADEME :	Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
BMRA :	Building Material Reuse Association ou Fédération Américaine des Acteurs du Réemploi
BTP :	entreprises du Bâtiment et des Travaux Publics
CCNR :	Convention africaine sur la Conservation de la Nature et des Ressources naturelles
CDB :	Convention sur la Diversité Biologique
CE :	Commission Européenne
CED :	Catalogue Européen des Déchets
CET :	Centre d'Enfouissement Technique
CETE :	Centres d'Études Techniques de l'Équipement
CUD :	Chaussée Urbaine Démontable
DfD :	Design for Deconstruction
DRIEA :	Direction Régionale et Interdépartementale de l'Équipement et de l'Aménagement
ENSP :	École Nationale Supérieure de Paysage
FDES :	Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire
GES :	Gaz à Effet de Serre
HoReCa :	Hôtellerie, Restauration, Cafés
IBGE :	Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement
IUCN :	Union Internationale pour la Conservation de la Nature
OMC :	Organisation Mondiale du Commerce
REPA :	Ressources and Environmental Profile Analysis
UNED :	Union Nationale des Exploitants du Déchet

LISTE DES FIGURES

Fig.1 - Répartition des matières premières selon leurs usages - Source : (Les cahiers du développement durable, 2018b)	4
Fig.2 - Règles générales de gestion des déchets : classification simplifiée - Source : (Cellule Environnement de l'Union Wallonne des Entreprises, [sans date]) - adapté par Tanguy Sorre	5
Fig.3 - Transition du système linéaire au système circulaire - Source : (CIFFUL et al., 2013)	6
Fig.4 - Schéma du cycle de vie - Source : (Pôle éco-conception, 2016a)	7
Fig.5 - Schéma de l'économie circulaire - Source : (ADEME, 2017)	8
Fig.6 - Schéma d'application de l'économie circulaire à l'aménagement - Source : (ADEME, 2017)	9
Fig.7 - Schéma de l'approche cycle de vie du projet d'aménagement - Source : (ADEME, 2017)	10
Fig.8 - Logo Ecolabel Européen - Source : (European Commission, 2017)	15
Fig.9 - Logo NF Environnement - Source : (AFNOR Certification, 2012) Wikimedia Commons	15
Fig.10 - Concasseur-cribleur mobile pouvant être amené sur chantier - Source : (RDS France, 2018)	16
Fig.11 - Dessins des différentes manières d'installer le stockage dans des reliefs existants - Source : (Hilaire, 2016)	17
Fig.12 - Levage des dalles effectué à l'aide d'un engin de chantier muni d'un système de ventouse – Source : (Cimbéton, 2008)	18
Fig.13 - Intervention sur un réseau sous la CUD – Source : (Cimbéton, 2008)	18
Fig.14 - Structure de la CUD – Source : (Cimbéton, 2008)	18
Fig.15 - Plan de circulation de Louvain (Belgique) – Source : (Eltis, 2017) - Image credit : Stad Leuven	19
Fig.16 - Plan de situation du quartier de Coronmeuse à Liège - Source : (Tanguy Sorre, 2018)	21
Fig.17 - Plan du site existant de Coronmeuse et ses limites - Source : (Tanguy Sorre, 2018)	21
Fig.18 - Plan masse du projet d'écoquartier de Coronmeuse - Source : (BUUR, 2017)	22
Fig.19 - Infographie montrant les 5 thématiques pour favoriser une économie circulaire via le projet d'éco-quartier de Coronmeuse - Source : (BUUR, 2017)	22
Fig.20 - Schéma de la hiérarchie de prévention et gestion des déchets - Source : (CIFFUL et al., 2013)	23
Fig.21- Plaques de parment en terre cuite des façades du Grand Palais à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018	25
Fig.21 - Echantillon de photos des pavés de différentes natures à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018	27
Fig.22 - Plan masse de la localisation des pavés en pierre naturelle (noir) et en béton (orange) sur le site de Coronmeuse à Liège - Source : (Sorre, 2018)	28
Fig.23 - Photos des fils d'eau en pavés de différentes natures à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018	28
Fig.24 - Photos des pavés recouverts d'asphalte à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018	28
Fig.25 - Capture d'écran de la carte des fournisseurs de pavés, bordures et klinkers de réemploi en Belgique sur la plateforme opalis.be - Source : (Sorre, 2018)	32

LISTE DES TABLEAUX

Tab.1 : Besoins en énergie primaire et impact sur le réchauffement de la planète de 100m² de revêtement - Source : PE international GmbH (Horticulture & Paysage, 2013) 14

Tab.2 : Besoins en énergie primaire du transport (MJ/100m²) pour des pavés en pierre naturelle (avec comme constantes : besoins en énergie primaire des matières premières = 43 466 MJ/100m²; besoins en énergie primaire de la construction = 504 MJ/100m²) - Source : PE International GmbH (Horticulture & Paysage, 2013) 14

LISTE DES ANNEXES

Annexe I - Extrait de la Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) pour un revêtement en asphalte pour chaussée
(Sources : base-inies.fr)

Annexe II - Illustrations des étapes du réemploi de pavés en pierre naturelle
(Sources : Captures d'écran Vidéo Youtube (Mairie de Paris, 2015) et TERRA - Arnaud Bouissou)

Annexe III - Inventaire des matériaux sur le site de Coronmeuse à Liège
(Source : Sorre, 2018)

AVANT-PROPOS

Structure d'accueil

J'ai effectué mon stage de fin d'études de six mois à BUUR, un bureau d'études situé en Belgique. BUUR présente une équipe multidisciplinaire, composée de 56 urbanistes, ingénieurs-architectes, architectes-paysagistes, planificateurs et experts en mobilité. Ses bureaux sont situés à Louvain, Gand et plus récemment à Bruxelles, et ses activités s'exercent principalement en Flandre et à Bruxelles. Cependant, l'équipe étant internationale (pas moins de 10 nationalités), des projets sont également réalisés en dehors des frontières régionales et nationales, allant de l'échelle de la place publique à l'échelle territoriale.

Missions principales

Au cours de ce stage, j'ai principalement été affecté à trois missions, en plus de participer à des tâches de renfort plus ponctuelles sur d'autres projets lorsque cela s'avérait nécessaire.

La première mission était d'ordre exécutif, bien que ce ne soit pas une mission courante pour BUUR. J'ai pu m'adonner au suivi d'un chantier de parking végétalisé sur 4 hectares pour l'Université de Liège, notamment en participant pendant 6 mois aux réunions de chantier hebdomadaires. L'enjeu de ce projet était de concevoir et de réaliser un parking s'intégrant dans un contexte boisé et dans une perspective de réversibilité.

La deuxième mission a été de travailler au sein de l'équipe en charge d'un projet d'urbanisation à Sfax, deuxième plus grande ville de Tunisie. A partir d'un site quasiment vierge de toutes constructions et infrastructures, le projet de Taparura repose sur la réalisation d'un masterplan proposant une urbanisation sur 420 hectares de remblais sur la mer. Le projet relève d'une complexité en terme d'enjeux urbanistiques, environnementaux (ancienne extraction de phosphate, problématique d'inondation, gestion des eaux), de développement social, de mobilité et d'intégration aux quartiers adjacents. Outre l'échelle spatiale, ce projet m'a permis de me familiariser avec l'échelle temporelle, puisque le phasage s'étend sur plus de 20 ans.

Enfin, la troisième mission concernait un projet d'écoquartier sur le site de Coronmeuse (25 hectares) pour la ville de Liège. Le projet s'inscrit dans un cadre de rénovation urbaine, le site présentant déjà des aménagements. La ville de Liège souhaite faire de cet écoquartier un modèle de développement urbain ayant comme ambition d'inscrire le projet dans une démarche la plus éco-responsable possible. Au cours de ma participation à ce projet, une réflexion sur l'enjeu de la préservation des ressources et la production de déchets a émergé. J'ai donc choisi d'approfondir le sujet à travers ce mémoire.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	1
1. L'ECO-CONCEPTION : DE L'INDUSTRIE A L'AMENAGEMENT URBAIN DURABLE	3
1.1. L'industrie, effigie d'un système linéaire non durable	3
1.1.1. La remise en cause d'un système	3
1.1.2. Une linéarité consommatrice de ressources	3
1.1.3. Une linéarité productrice de déchets	4
1.2. Évolution du concept d'éco-conception au service d'un système économique circulaire durable	6
1.2.1. Intégration de l'environnement par l'industrie	6
1.2.2. De l'ACV à l'éco-conception	7
1.2.3. L'éco-conception et l'économie circulaire : une complémentarité indispensable	8
1.3. Vers un aménagement durable qui s'inscrit dans une économie circulaire : les espaces publics des éco-quartiers	9
1.3.1. Le projet d'aménagement comme application de l'économie circulaire	9
1.3.2. L'écoquartier : forme de développement de l'économie circulaire et application de l'éco-conception	10
1.3.3. Le rôle du paysagiste éco-concepteur	11
2. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES CHOIX DE MATERIAUX ET DES CHOIX DE CONCEPTION DANS LES PROJETS D'AMENAGEMENT	12
2.1. Une optimisation des ressources via le choix des matériaux	12
2.1.1. Tenir compte de l'énergie grise et des Gaz à Effet de Serre (GES) dans le choix des matériaux	12
2.1.2. Choisir des matériaux locaux moins impactants	13
2.1.3. Privilégier des matériaux recyclés, renouvelables et de qualité	14
2.1.4. La dimension environnementale des labels	15
2.2. Une optimisation des ressources via des choix de conception et de mise en œuvre ayant un impact indirect sur la consommation de ressources	16
2.2.1. Tenir compte des caractéristiques physiques du site	16
2.2.2. Concevoir une gestion alternative des eaux pluviales	17
2.2.3. Anticiper les problématiques d'accès aux impétrants	17
2.2.4. Favoriser des usages et comportements aux impacts environnementaux réduits	18
2.2.5. Concevoir en pensant à une réversibilité, flexibilité et résilience	20

3. LE REEMPLOI COMME LEVIER D'ACTION DU PAYSAGISTE – CAS DE L'ÉCOQUARTIER DE CORONMEUSE (LIEGE)	21
3.1. Le projet dans son contexte	21
3.1.1. Contexte du site d'étude	21
3.1.2. Un des projets d'écoquartier les plus ambitieux de Wallonie	22
3.2. 3.2. Pourquoi préférer le réemploi au recyclage ?	23
3.2.1. Une hiérarchisation des modes de traitement	23
3.2.2. Le réemploi limiteur de l'entropie	24
3.2.3. Le réemploi transmetteur de valeurs culturelles	24
3.3. L'inventaire : point de départ du changement de vision vers la circularité du réemploi	25
3.3.1. La ville vue comme un gisement urbain	25
3.3.2. Inventorier les matériaux sur site	25
3.3.3. Estimation de la valeur et du potentiel de réemploi des matériaux	26
3.4. Exemple du pavé à Coronmeuse	27
4. ENTRE LIMITES ET OPPORTUNITES, DESSEIN D'UNE ECONOMIE CIRCULAIRE DU REEMPLOI	29
4.1. Un regard à changer	29
4.2. Un manque d'informations à combler	30
4.2.1. L'importance de l'information	30
4.2.2. Des perspectives pour la transmission de l'information	30
4.3. Une offre de matériaux de réemploi à stabiliser	31
4.3.1. Des lots hétérogènes de matériaux	31
4.3.2. Des solutions à exploiter : stockage, plate-forme en ligne de matériaux	32
4.4. Des outils pour l'aménagement à adapter en vue de favoriser le réemploi	33
4.4.1. La mise en place d'un label réemploi	33
4.4.2. L'adaptation des marchés publics	33
4.5. Un système à réviser?	34
4.5.1. Quid du rôle de chacun des acteurs dans le processus d'un aménagement	34
4.5.2. Du rôle des acteurs à leur responsabilité : vers une économie de la fonctionnalité	35
CONCLUSION	36
BIBLIOGRAPHIE	37
SITOGRAFIE	40

INTRODUCTION

Extraire, produire, consommer, jeter. Tel est le système linéaire dans lequel s'inscrit notre économie en Europe depuis la révolution industrielle. Cette accélération du développement des industries a engendré un modèle de consommation infinie de ressources naturelles finies. Dès lors, on peut déjà entrevoir le paradoxe émergeant de ce modèle.

Cependant, il a fallu attendre les années 70 pour qu'une prise de conscience se dessine. Le rapport du Club de Rome publié en 1972, Halte à la croissance ? Rapport sur les limites de la croissance, suivi du premier choc pétrolier de 1973 ont réveillé les esprits et leurs médiatisations marquent l'opinion publique. La notion de développement durable commence alors à émerger et à s'inscrire comme sujet de réflexion et base de travail dans les agendas politiques. Suite aux différents sommets de la Terre et à la Commission Mondiale sur l'Environnement et le Développement de l'ONU accompagnée de la publication du Rapport Brundtland en 1987, le développement durable prend une envergure internationale et trouve des mises en application dans une multitude de domaines.

En ce qui concerne l'urbanisme et l'aménagement du territoire, un sujet très enclin au développement durable est l'écoquartier. Depuis la fin des années 90 dans le Nord de l'Europe et le milieu des années 2000 en France, de plus en plus de villes se tournent vers ce développement, parfois persuadées par des associations ou collectifs d'habitants, et cette terminologie est de plus en plus utilisée par les médias ou les pouvoirs publics en tant que support de communication car c'est un terme qui reste relativement nouveau, évocateur et « séduisant ». C'est ainsi qu'auprès du grand public, de moins en moins de personnes ont besoin d'une « traduction » lorsque le mot écoquartier est prononcé (Boutaud, 2009). Ce n'est pas pour autant que l'objet d'écoquartier n'en reste pas moins complexe.

Défini comme un quartier urbain qui a pour objectif de réduire son impact environnemental, tout en favorisant le développement économique ainsi que la qualité de vie, la mixité et l'intégration sociale, l'écoquartier cherche à adopter des solutions innovantes et efficaces sur plusieurs plans (Merlin, Choay, 2010b). De nombreux aménagements d'écoquartiers ont fait leur preuve, comme l'illustre quartier Vauban à Freiburg-im-Breisgau en Allemagne, entrepris en 1994. Dans le Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement de 2010, on peut lire que ce quartier « repose sur des petits immeubles de forme cubique avec des façades en bois, des escaliers extérieurs et des toitures végétalisées. L'énergie est fournie par la combustion de plaquettes de bois pour le chauffage [collectif], des éoliennes et des panneaux photovoltaïques (les émissions de CO₂ ont été réduites de moitié). Les eaux pluviales, filtrées à travers du sable, servent à l'arrosage des jardins. Les garages et emplacements de stationnement sont éliminés au profit des transports en commun, de la bicyclette et de la marche. Des équipements publics nombreux, des espaces publics et semi-publics variés et une association, le Forum Vauban, favorisent la vie sociale ».

Or, à l'heure actuelle en Europe, le secteur de la construction, dans lequel s'inscrit la réalisation de ces quartiers durables, consomme encore à lui seul environ 51.5% des ressources naturelles extraites en 2013 (chiffres materialflows.net pour l'Europe des 27 → extraction minérale du secteur de la construction 3 068 224 kt; total des ressources extraites 5 956 495 kt). En 2014, les déchets produits par ce même secteur pesaient pour 34,7% dans la balance de tous les déchets produits en Europe (70,2% pour France et 40,2% pour la Belgique) (chiffres Eurostat pour l'Europe des 28). Bien qu'il soit difficile de savoir quelle part représentent les aménagements extérieurs par rapport aux bâtiments et travaux publics (voiries et infrastructures notamment) en terme de ressources exploitées et de déchets produits, l'aménagement du territoire est directement lié aux professions du paysage, de l'architecture et de l'urbanisme qui interagissent avec le secteur de la construction.

Ainsi, face à ces enjeux environnementaux de taille, on peut se poser la question du rôle que peut jouer le paysagiste à propos de la problématique des matériaux au travers de la conception

d'écoquartier et plus spécifiquement de ses espaces publics. En effet, cette dimension des matériaux implique des notions de mobilisation des ressources, de durabilité, de choix, de gestion, de technique que le concepteur paysagiste doit être en mesure de maîtriser grâce à son expertise.

Au cours de mon stage, ma participation au projet d'écoquartier de Coronmeuse à Liège m'a confronté aux enjeux des matériaux via l'éco-conception des espaces publics. Le site de 25 hectares présente d'ores et déjà des aménagements qui se verront modifiés à travers le projet. La quantité de matériaux concernée par cette modification d'aménagement est alors de grande ampleur et doit être prise en compte dans le processus de conception.

Dans quelles mesures le paysagiste peut-il optimiser la consommation de ressources naturelles et la production de déchets à travers l'éco-conception d'espaces publics?

Il s'agira dans un premier temps de définir ce qu'est l'éco-conception et pourquoi éco-concevoir. Pour cela, les notions de déchets et de ressources seront identifiées afin d'illustrer les limites du système linéaire. Une analyse de l'approche de l'éco-conception dans l'industrie permettra de comprendre son importance et son potentiel pour la création d'un système économique circulaire. A partir de ces conclusions, le mémoire proposera une réflexion sur la manière dont cela est envisageable de nos jours dans l'aménagement d'espaces publics, et notamment en se focalisant sur la question des matériaux dans la suite du mémoire.

La deuxième partie abordera les conséquences environnementales des choix de matériaux et des choix de conception dans le cas de projets d'aménagement sur des terrains naturels ou agricoles, mais valable également pour des aménagements de rénovation urbaine. Des solutions et des critères, pour le choix et la mise en oeuvre des matériaux avec un impact environnemental limité, sont identifiés. Le mémoire propose ensuite une réflexion sur la manière dont des choix de conception peuvent agir à posteriori sur la consommation de ressources.

Dans une troisième partie, la question du réemploi à l'échelle d'un projet d'écoquartier sera traitée. En effet, dans le cadre de rénovation urbaine où des matériaux sont déjà présents en quantité in situ, le paysagiste peut envisager le réemploi comme levier d'action, intégré au processus d'éco-conception. Cette partie sera illustrée à travers le projet d'écoquartier de Coronmeuse.

La réutilisation in situ facilitant certains aspects logistiques et organisationnels, une analyse permettra d'identifier les opportunités ainsi que les limites et difficultés pour la mise en oeuvre d'une économie circulaire du réemploi à plus grande échelle au niveau de l'aménagement urbain.

1. L'ECO-CONCEPTION : DE L'INDUSTRIE A L'AMENAGEMENT URBAIN DURABLE

1.1. L'industrie, effigie d'un système linéaire non durable

1.1.1. La remise en cause d'un système

A partir de la fin du XIX^e siècle, l'Europe de l'Ouest connaît un bouleversement au niveau de la production et de son rendement : la révolution industrielle. Les savoir-faire en terme de mécanisation rendent la production plus abondante, avec comme conséquences notamment une baisse des prix et une abondance de produits et matériaux de construction. Dans le même temps, le développement des transports a permis d'intensifier les échanges et de tendre au fil des années vers une mondialisation et globalisation que nous connaissons aujourd'hui. Le niveau de vie de la population voit sa qualité augmenter alors à une vitesse fulgurante, tout comme la population qui s'accroît et devient de plus en plus urbaine.

Au XX^e siècle, « ce développement des industries a accéléré considérablement l'exploitation des sols et l'extraction de ressources qui étaient jusqu'alors non utilisées (pétrole) et qui produisent pour la première fois des matériaux non recyclables (polymères, matières plastiques...). Cette industrialisation a ainsi généralisé l'usage du béton ou encore de l'automobile dans la construction d'un nouvel idéal de société et de nouveaux modes de vie. S'ensuit alors une course à l'approvisionnement en ressources toujours plus grande et mondialisée. Nous puisons alors de manière infinie dans des ressources finies qui viendront à manquer et provoquant d'ores et déjà des pénuries de matières premières » (Chiron, 2017). Des personnes comme Paul Josef Crutzen parlent même de l'entrée dans une nouvelle ère nommée l'Anthropocène : terme de chronologie géologique proposé pour caractériser l'époque de l'histoire de la Terre qui a débuté lorsque les activités humaines ont eu un impact global significatif sur l'écosystème terrestre.

Ce modèle de production a connu des crises à partir des années 70 qui ont été la scène d'une prise de conscience générale sur les limites de la planète. Le collectif Encore Heureux révèle dans l'exposition « Matière grise » en 2014 ce ratio étourdissant : 300 kg de « nature » sont nécessaire pour produire 10 kg de produit industriel. Le système linéaire « extraire – produire – consommer – jeter » n'est alors plus viable en raison notamment des deux éléments aux extrémités de la chaîne : les ressources et les déchets (Amsing, 2016).

1.1.2. Une linéarité consommatrice de ressources

Régulièrement, nous employons le terme de ressources naturelles ou de matières premières de façon similaire sans réellement se demander si un aspect les différencie. « Les définitions des « ressources naturelles » dans les instruments légaux internationaux ou régionaux sont presque inexistantes ». Les définitions ont évolué selon les périodes, les valeurs considérées et les points de vue adoptés, offrant ainsi différentes versions de la part de différentes organisations qu'elles aient une valeur juridique ou non (Convention africaine sur la Conservation de la Nature et des Ressources naturelles, Convention sur la Diversité Biologique, Union internationale pour la Conservation de la Nature, Organisation Mondiale du Commerce (OMC), Commission Européenne) (Fernandez-Fernandez et al., 2014).

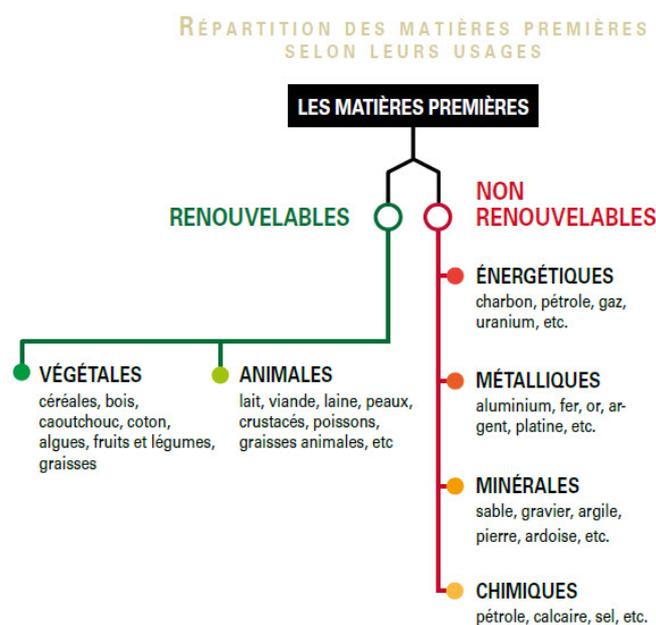
Concernant des définitions relativement larges, nous avons la Commission Européenne qui propose dans sa communication du 26 Janvier 2011 la définition suivante : les ressources naturelles englobent « les matières premières telles que les combustibles, les minéraux et les métaux, mais aussi les produits alimentaires, le sol, l'eau, l'air, la biomasse et les écosystèmes ».

L'OMC retient quant à elle une définition des ressources naturelles très étroite car elle répond exclusivement à une approche commerciale. Dans son Rapport sur le commerce mondial 2010, dédié au commerce des ressources naturelles, l'Organisation définit les ressources naturelles comme « les stocks de matières présentes dans le milieu naturel qui sont à la fois rares et économiquement utiles pour la production ou la consommation, soit à l'état brut, soit après un minimum de transformation » (Fernandez-Fernandez et al., 2014).

« Les matières premières correspondent aux produits tirés du sol, du sous-sol ou de la mer, avant toute transformation (sauf celle exigée pour la vente en grande quantité) et qui sont donc issus des ressources naturelles au sens originel du terme » (Deshaies, Mérenne-Schoumaker, 2014). Dès lors qu'il est fait référence aux ressources naturelles dont dépendent les économies, les ressources sont considérées comme matières premières, décrivant ainsi une approche étroite et utilitariste (Fernandez-Fernandez et al., 2014).

Ainsi, l'activité industrielle, tout comme le secteur de la construction et de l'aménagement, consomme des matières premières qui sont alors classifiées (fig.1) pour permettre de les quantifier plus facilement.

Depuis la révolution industrielle, la consommation des matières premières est en croissance constante. Ainsi, par exemple, entre 1892 et 1992, la consommation des minerais est multipliée par 37 et celle des ressources énergétiques par 17, alors que dans le même laps de temps, la population mondiale ne s'est multipliée « que » par 4. L'augmentation de la consommation a été la plus forte pendant ces 50 dernières années [1]



Source : BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, www.bgr.bund.de

Fig.1 - Répartition des matières premières selon leurs usages - Source : [1] (Les cahiers du développement durable, 2018)

1.1.3. Une linéarité productrice de déchets

La diminution des ressources n'est pas la seule limite pour continuer d'appliquer le modèle industriel. Il faut également prendre en considération les effets de ce modèle, la production en masse de déchets qu'il induit (Amsing, 2016).

Mais alors, qu'est-ce qu'un déchet? « C'est le produit ou le résultat d'une déchéance. Le déchet est une partie en trop, une fraction d'un ensemble dont il n'est pas nécessaire de faire usage pour accomplir une tâche ou atteindre un objectif » (Servoise, 2017). Aujourd'hui, la définition est plus large et englobe l'« objet désormais brisé et abandonné, ayant perdu sa valeur d'échange, tandis que la valeur d'usage vient de s'éteindre; il quitte donc le cercle commercial » (Amsing, 2016).

D'après le dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, on emploie souvent, sans distinction précise, trois termes qui ne sont pas exactement synonymes :

- les déchets sont les résidus de matière, récupérables ou non, laissés à la suite d'une opération de fabrication ou de consommation ;

- les résidus sont les restes de substances à la suite de l'intervention de divers agents, lors d'une fabrication ou d'une transformation, naturelle ou non;
- les ordures sont des déchets présentant un caractère repoussant.

Pour éviter le caractère péjoratif de cette expression, et le caractère limité de la seconde, il semble préférable, comme le font les textes officiels, d'utiliser l'expression de déchets. (Merlin, Choay, 2010a)

C'est ainsi que la réglementation européenne définit au sein de la directive européenne 2008/98/CE le terme déchet comme « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». De la même manière que pour les ressources, il existe une classification des déchets. Celle-ci est construite selon la nature, la dangerosité des déchets et le secteur d'activité qui les produit (se référer au Catalogue Européen des Déchets). Une représentation simplifiée de cette classification est représentée ci-dessous (fig.2).

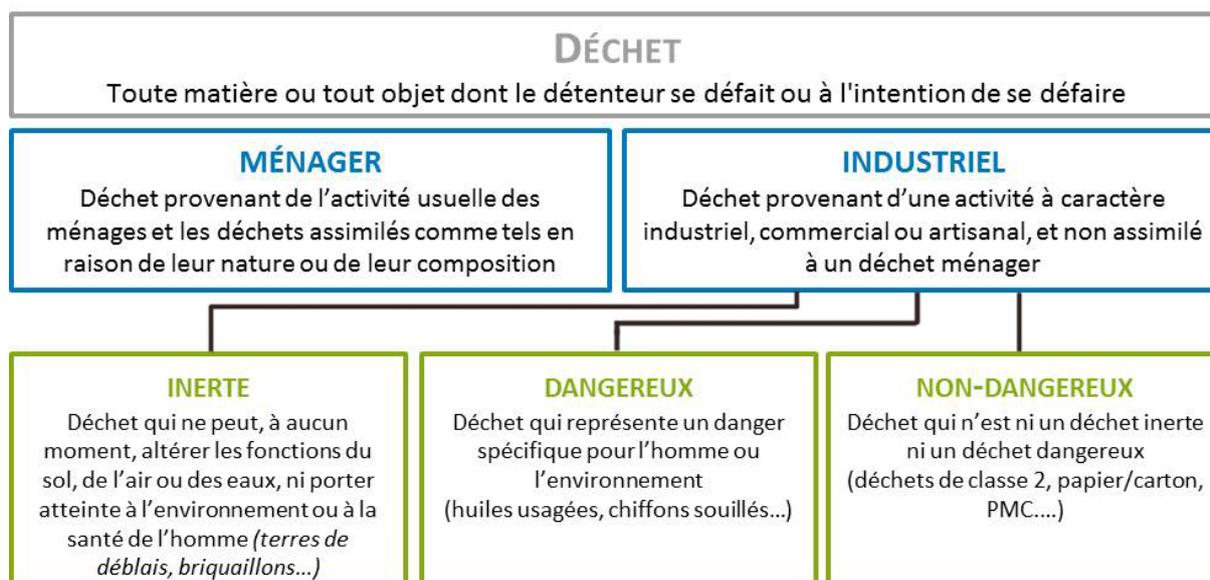


Fig.2 - Règles générales de gestion des déchets : classification simplifiée - Source : [2] (Cellule Environnement de l'Union Wallonne des Entreprises, [sans date]) - adapté par Tanguy Sorre

Les déchets industriels sont les plus importants : en France en 2006, 350 millions de tonnes de déchets dits inertes (matériaux de construction, déchets des mines et des carrières) et 86 millions de tonnes de déchets provenant de l'industrie de transformation, dont 10 millions de tonnes de déchets considérés comme dangereux, voire toxiques (Merlin, Choay, 2010a)

En France en 2014, les entreprises de Bâtiment et Travaux Publics (BTP) produisent 227,5 millions de tonnes de déchets. La proportion des déchets inertes réutilisés ou valorisés dès leur sortie de chantier est de 61 % pour l'ensemble du secteur du BTP, contre 49 % en 2008. Malgré une évolution positive, ces chiffres du Service de l'observation et des statistiques montrent que la part des déchets produits par le BTP est encore élevée et que leur valorisation doit encore progresser. En effet, la directive-cadre de 2008 fixe des objectifs de recyclage et de valorisation à l'horizon 2020 pour les déchets de construction et de démolition à 70%.

« Notre économie actuelle dite linéaire se base sur un principe de création de valeur simple qui extrait des ressources, les transforme, les consomme et les jette. Ce modèle, associé à la consommation de masse et à la croissance démographique exponentielle, entraîne une dynamique qui exerce une forte pression sur nos ressources naturelles et de fait sur nos territoires », accompagnée d'une production de déchets toujours importante. « Le constat est simple : notre modèle de développement économique actuel n'est pas durable » (ADEME, 2017).

Dorénavant, l'enjeu est de saisir comment optimiser la consommation de ressources et la production de déchets en intervenant à différentes échelles du système linéaire pour tendre vers un système circulaire, semblable aux processus cycliques que la Nature nous offre tel le cycle de l'eau, qui permettra la transition énergétique et écologique, comme illustré sur la fig.3.

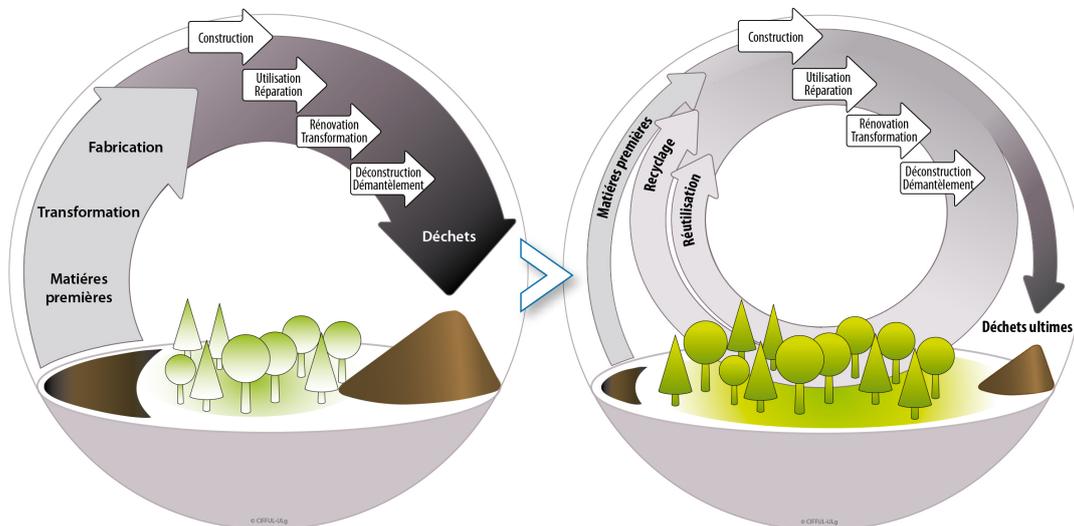


Fig.3 - Transition du système linéaire au système circulaire - Source : (CIFFUL et al., 2013)

1.2. Évolution du concept d'éco-conception au service d'un système économique circulaire durable

1.2.1. Intégration de l'environnement par l'industrie

À l'après guerre, les premières démarches environnementales en entreprise étaient curatives, les entreprises essayant de traiter les effluents en sortie des usines [3].

« La première vague d'intégration de l'environnement en développement de produits date du début des années 1970. Son objectif principal est de diminuer la quantité de déchets solides qui se retrouvent dans les sites d'enfouissement » (Berneman et al., 2008), méthode de traitement des déchets principale à cette époque. C'est ainsi qu'a émergé un intérêt à la compréhension du système de production afin d'en appréhender son fonctionnement pour s'en faire une vision plus globale, et ainsi être en capacité d'effectuer des mesures pour apporter par la suite des améliorations au système.

« Rapidement, des chercheurs américains notamment, s'intéressent à des démarches incluant de multiples impacts environnementaux, selon lesquelles l'optimum écologique est obtenu en minimisant cinq critères (l'énergie, la matière, les déchets solides, les rejets dans l'eau et les rejets dans l'air) durant l'élaboration d'un produit ou d'un service. Au départ, l'approche multicritères consiste à intégrer les bilans matières, utilisés par l'industrie chimique, aux bilans énergétiques développés à la suite du choc pétrolier pour avoir une vision plus complète des ressources nécessaires à l'élaboration de produits. Plus tard apparaissent les « REPA » (Ressources and Environmental Profile Analysis). Dans ces analyses, outre les ressources utilisées, on prend en compte les rejets générés par le système de production à l'étude » (Berneman et al., 2008).

« En 1979, des industriels américains créent la SETAC (Society of Environmental Toxicology And Chemistry), avec l'objectif de développer et de promouvoir les outils permettant d'évaluer les impacts environnementaux d'une technique ou d'une activité. Durant les années 1980, on développe des analyses que l'on nomme : « éco profil », « écobilan », « analyse du berceau à

la tombe » et qui sont peu à peu regroupées sous l'appellation Analyse de Cycle de Vie (ACV) (« Life-Cycle Analysis » (LCA)) » (Berneman et al., 2008).

1.2.2. De l'ACV à l'éco-conception

« L'analyse du cycle de vie est donc un outil d'aide à la décision qui présente une vision globale des impacts générés par les produits (biens, services ou procédés) » [4]. « L'ACV recense et quantifie, tout au long de la vie des produits, les flux physiques de matière et d'énergie associés aux activités humaines », autrement dit les aspects environnementaux liés à leur conception durant leur cycle [5]. Une double approche offre à l'ACV une pertinence indéniable :

- L'approche « cycle de vie » (fig.4), autrement appelée multi-étapes. « Toutes les étapes du cycle de vie d'un produit sont prises en compte pour l'inventaire des flux, du « berceau à la tombe » : extraction des matières premières (ou utilisation de matières recyclées) énergétiques et non énergétiques nécessaires à la fabrication du produit, distribution, utilisation, collecte et élimination vers les filières de fin de vie ainsi que toutes les phases de transport » [5]. Il s'agit aussi, dans la mesure du possible, d'éviter les déchets ultimes et les transferts de pollution et d'impact d'une étape du cycle à une autre.

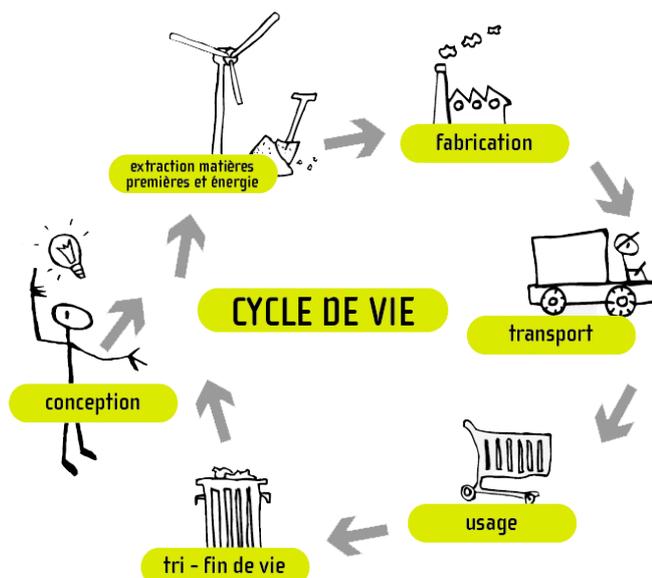


Fig.4 - Schéma du cycle de vie -
Source : [7] (Pôle éco-conception, 2016a)

- L'approche « multi-critères ». « Une ACV se fonde sur plusieurs critères d'analyse des flux entrants et sortants. On appelle « flux » tout ce qui entre dans la fabrication du produit et tout ce qui sort en matière de pollution. La collecte des informations relatives aux flux est une étape importante de l'ACV. Ils sont quantifiés à chaque étape du cycle et correspondent à des indicateurs d'impacts potentiels sur l'environnement. La complexité des phénomènes en jeu et de leurs interactions est une source d'incertitude sur la valeur réelle des impacts, c'est pourquoi on les qualifie de "potentiels" » [5].

Ainsi, cet outil d'évaluation et d'aide à la décision à l'échelle d'un produit semble être à l'origine d'une nouvelle vision et de nouvelles approches industrielles de la conception qui visent alors des objectifs spécifiques de préservation de l'environnement, mais qui peuvent créer des déplacements de pollution ; il devient alors nécessaire de penser en termes de système. C'est dans ce contexte qu'apparaît aux États-Unis le *Design for the Environment* (DfE), ou conception pour l'environnement, remplacé au début des années 2000 par le terme d'éco-conception (Huang et al., 2012).

En 2009, la directive 2009/125/CE définit l'éco-conception comme un processus d'« intégration des caractéristiques environnementales dans la conception du produit en vue d'améliorer la performance environnementale du produit tout au long de son cycle de vie ». Autrement dit, « l'éco-conception c'est la façon dont un produit est pensé pour pouvoir durer le plus longtemps possible, être facilement réparable, modulable au fil du temps et en dernier lieu qu'on puisse le recycler aisément. On y inclut aussi le fait que le produit doit être en priorité composé de matériaux recyclés plutôt que nouveaux » [6].

L'éco-conception est donc une démarche préventive. « Dans les entreprises soucieuses de prendre en compte le critère écologique dès la phase de conception, on observe le passage d'un objectif écologique de traitement de la pollution en aval du processus de production à de nouvelles formes de production visant la prise en compte de l'impact environnemental en amont (approche préventive de réduction à la source) et l'intégration de préoccupations d'efficacité énergétique et organisationnelle dans le processus de production » (Huang et al., 2012).

1.2.3. L'éco-conception et l'économie circulaire : une complémentarité indispensable

« Si l'éco-conception est une méthode qui tend à diminuer les impacts environnementaux d'un produit, d'un service ou d'un procédé, l'économie circulaire cherche à rendre la société dans son ensemble moins polluante et plus sobre dans l'utilisation des ressources tout en poursuivant l'objectif de croissance économique et de création d'emplois » (ADEME et al., 2016). En d'autres termes, l'économie circulaire est l'environnement, le support ou encore le système dans lequel l'éco-conception peut se déployer à grande échelle et prendre ainsi tout son sens.

En effet, l'éco-conception qui anticipe les déchets en fin de vie par exemple traduit une intention de diminuer l'impact sur les ressources. Cette conception peut facilement prendre en compte l'amont (chaîne d'approvisionnement, fournisseurs) mais plus difficilement l'aval. On peut donc concevoir un produit recyclable, mais cela ne veut pas dire qu'il soit effectivement recyclé car le bouclage effectif que tente d'organiser l'économie circulaire dépend du consommateur et de la 'post-consommation' [7].

« L'éco-conception est une approche 'micro' de la conception d'un produit et/ou d'un service. Elle ne traite pas des processus concrets de recyclage par exemple, mais elle prépare les produits et services pour qu'ils puissent être recyclables (prêt au recyclage : recycling ready). L'économie circulaire est un concept 'macro' qui vise globalement la réduction de la consommation de ressources en fermant les boucles. Elle s'intéresse donc à la réalisation concrète de ce bouclage » [7].

En résumé, l'éco-conception vise, dès la conception en amont du processus de développement d'un projet, l'intégration des produits et services dans le système de l'économie circulaire. Comme on peut le voir dans le schéma ci-contre (fig.5), l'éco-conception est elle-même incluse dans le concept d'économie circulaire.

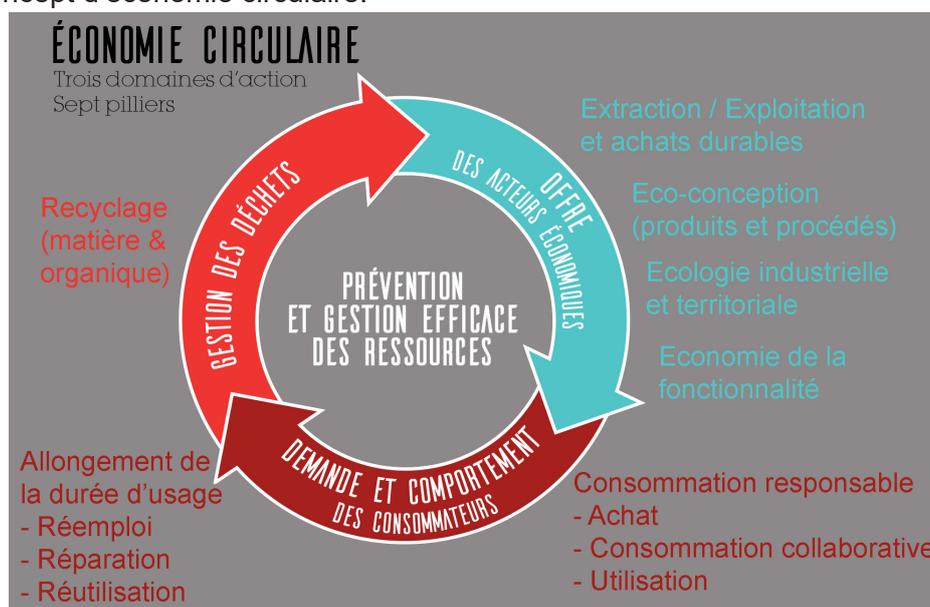


Fig.5 - Schéma de l'économie circulaire - Source : (ADEME, 2017)

Aujourd'hui appliqués à de nombreuses activités et notamment aux produits industriels manufacturés ou encore au bâtiment, les 3 domaines et 7 piliers d'actions (visibles sur le schéma ci-dessus) sont à mobiliser de manière imbriquée et transversale pour développer toute la profondeur du « modèle » économie circulaire. En choisissant le projet d'aménagement comme territoire d'application pour développer l'économie circulaire, des perspectives s'ouvrent pour mettre en pratique tous les atouts du modèle à toutes les échelles et pour tous les acteurs (ADEME, 2017).

1.3. Vers un aménagement durable qui s'inscrit dans une économie circulaire : les espaces publics des éco-quartiers

1.3.1. Le projet d'aménagement comme application de l'économie circulaire

Au vu des chiffres cités en introduction concernant les ressources naturelles extraites et les déchets produits, les aménagements paysagers, qui vont souvent - si ce n'est toujours - de paire avec les travaux du bâtiment et les travaux publics, semblent refléter encore aujourd'hui des faiblesses du système linéaire : forte consommation de terre végétale (exportation et emprise au sol), revêtements consommateurs de matières minérales provenant de l'extraction de carrière, rénovations urbaines qui produisent des quantités de déchets présentant un potentiel non exploité pour des raisons économiques ou bien par habitude fonctionnelle... « Chaque année en France, plus de 3 millions de mètres cubes de terre végétale et de granulats issus de carrière sont nécessaires à l'aménagement des espaces verts urbains » (Thevenon, 2017).

« L'impact environnemental de ces aménagements est lié, d'une part, à ses composantes physiques et à leur mise en œuvre et, d'autre part, aux conditions d'usage et environnementales que ces aménagements instaurent » (P. Vanderstraeten IBGE, 2011). Ainsi, de la même manière qu'un produit manufacturé dans une industrie peut intégrer une démarche d'éco-conception au sein d'un système économique circulaire, l'espace public ou projet d'aménagement peut également être l'objet d'une démarche d'éco-conception ou conception écologique dans l'optique d'optimiser ses aspects environnementaux.

En d'autres termes, il s'agit en particulier d'intégrer la notion d'usage efficace des ressources à l'ensemble des projets. L'échelle du projet va contribuer à intégrer les interactions entre économie circulaire et aménagement. Ces interactions sont renforcées dans le cadre d'initiatives concrètes d'aménagement durable, tels que les écoquartiers, qui couvrent les trois domaines d'action de l'économie circulaire (usage, flux, économie) et qui mettent en œuvre les leviers d'action illustrant les sept piliers de l'économie circulaire (fig.6) (ADEME, 2017).

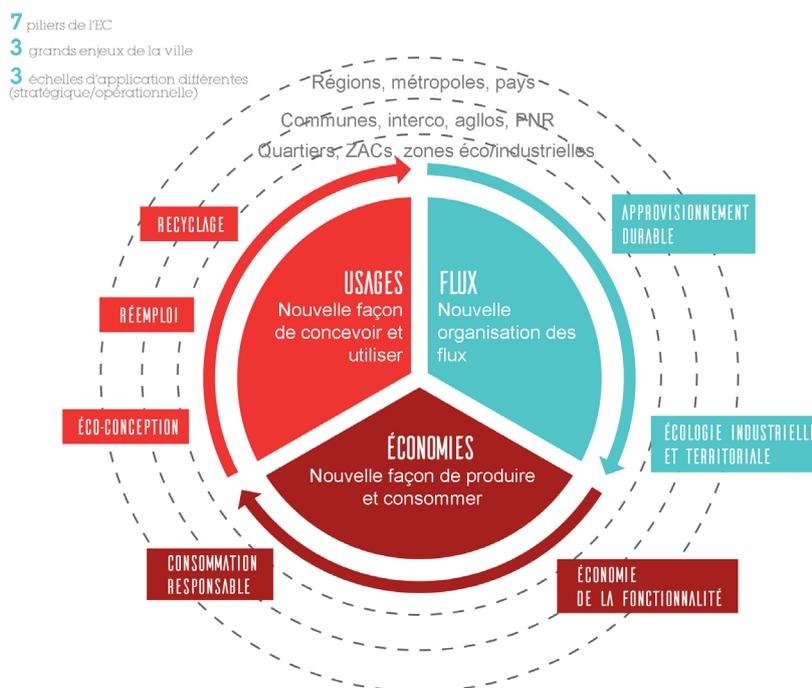


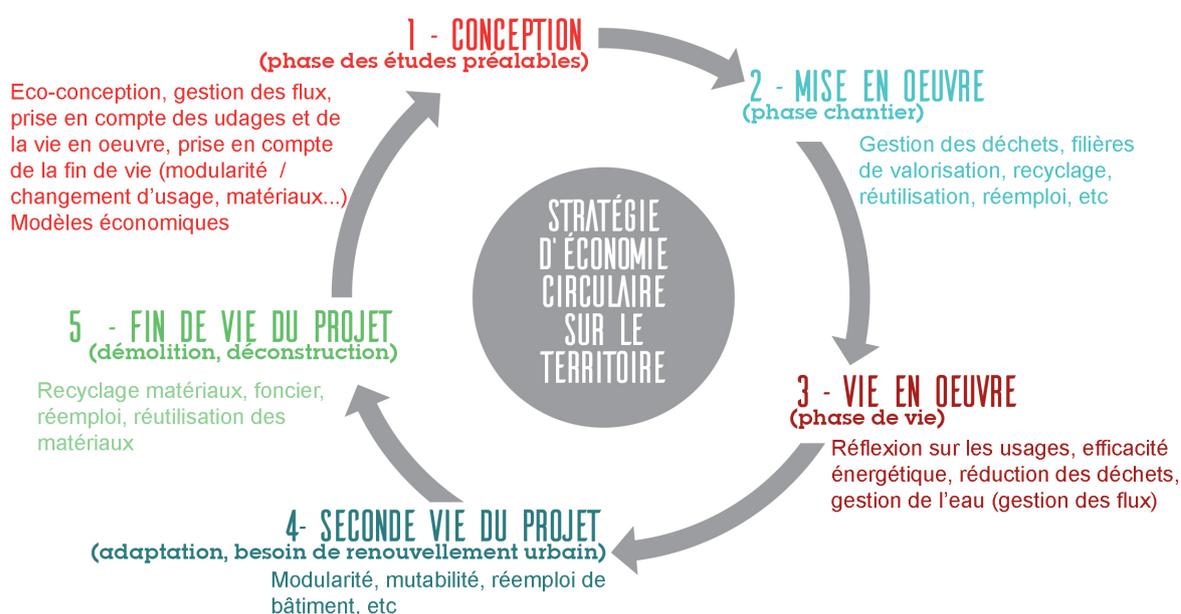
Fig.6 - Schéma d'application de l'économie circulaire à l'aménagement - Source : (ADEME, 2017)

1.3.2. L'écoquartier : forme de développement de l'économie circulaire et application de l'éco-conception

Les interactions les plus tangibles entre aménagement et économie circulaire ont notamment été développées à travers les écoquartiers. « Un écoquartier est un projet d'aménagement urbain qui respecte les principes du développement durable tout en s'adaptant aux caractéristiques de son territoire » [8].

La conception d'un quartier de ce type repose sur la démarche d'éco-conception qui est constituée d'une approche « cycle de vie » (multi-étapes). Cette vision « cycle de vie » permet, dès la conception du projet, de considérer les cinq phases déterminantes pour porter les ambitions de l'économie circulaire : conception, mise en œuvre, vie en œuvre, seconde vie et fin de vie (fig.7). La prise en compte du cycle permet d'identifier différentes sources d'impacts négatifs (approche multi-critères) et de proposer des solutions pour les réduire (ADEME, 2017).

L'AMÉNAGEMENT ET LA CONSTRUCTION SUPPORT DE DÉPLOIEMENT DE L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE



Source : INDDIGO - ORÉE

Fig.7 - Schéma de l'approche cycle de vie du projet d'aménagement - Source : (ADEME, 2017)

Aussi, l'approche par le cycle de vie du projet permet de poser la question de la gestion des ressources comme un principe de décision tout au long des différentes phases du projet d'aménagement. En effet, les espaces extérieurs, tout comme les infrastructures et les bâtiments, vont à terme mobiliser à eux seuls des quantités très importantes de matières premières et d'énergie. Les territoires, et plus particulièrement les villes, de par la concentration de population, sont perçus comme des gros consommateurs de ressources aussi bien matérielles qu'énergétiques. Le flux le plus important est celui des matériaux de construction consommés par les aires urbaines dont les aménagements paysagers et travaux publics font partie. Pourtant, ces espaces urbains sont également de véritables sources de gisement de richesses matérielles et énergétiques pouvant offrir, de fait, des solutions dans l'optimisation des modes de consommation et de production. (ADEME, 2017)

Ainsi en France, la démarche ÉcoQuartier, portée par le Ministère de la Cohésion des Territoires, vise à favoriser l'émergence d'une nouvelle façon de concevoir, de construire et de gérer la ville durablement. Afin de garantir la qualité des EcoQuartiers, le Ministère a créé

un label et une charte présentant 20 engagements dans lesquels la gestion responsable de la ressource est l'un des objectifs majeurs. Lors du renouvellement de la démarche EcoQuartier en 2016, l'économie circulaire a été identifiée comme une approche prioritaire à approfondir et l'intégration de ses principes est la garantie d'une gestion à la fois sobre et efficace des ressources qui seront mobilisées à chaque étapes par le projet d'aménagement (ADEME, 2017).

1.3.3. Le rôle du paysagiste éco-concepteur

Avant toute chose, notons que le terme de concepteurs désigne ici ceux qui conçoivent l'ouvrage ou l'aménagement. Nommés maîtres d'œuvre (MOE) dans le cas d'une commande publique, ils peuvent être paysagistes concepteurs (ou autres concepteurs ayant des compétences et références en projets d'aménagement paysager) ou par extension des spécialistes qui contribuent à leurs côtés au projet (experts écologiques, hydrologues, agronomes et bureaux d'études).

Comme nous l'avons vu précédemment, les flux de matériaux sont très importants dans le cadre d'aménagement urbain. Des arbitrages doivent donc être mis en place dans le choix de l'aménagement et l'utilisation des matériaux : une attention plus réfléchie portée sur leur provenance et leur renouvelabilité, sur ceux issus du réemploi, du recyclage, ou biosourcés, sur leur durée de vie, leur impact ainsi que sur leur mise en œuvre (démontabilité, réversibilité, traçabilité) (ADEME, 2017).

Le paysagiste concepteur, maître d'œuvre des projets et des études d'aménagement de l'espace extérieur, présente le potentiel d'arbitrer ces choix d'aménagement, de devenir le gestionnaire de la circularité et d'appréhender la problématique des flux de matériaux dans une perspective de durabilité. Grâce à ses savoir-faire techniques et créatifs et son positionnement à la charnière des préoccupations d'aménagement de l'espace entre environnement et architecture, il va être capable d'organiser l'espace à travers un processus d'éco-conception. Sa relation avec le projet lui permet de concevoir des espaces dans l'optique d'optimiser l'utilisation des ressources et prévenir de leur impact environnemental afin de réaliser des quartiers réversibles, des villes mutables sur le long terme, en prenant en considération la flexibilité du projet et des futurs changements.

Cette première partie met en évidence la prise de conscience progressive vis-à-vis de la consommation de ressources et la production de déchets que l'aménagement des villes génère. Malgré une démarche d'éco-conception qui intègre la notion d'usage efficace des ressources à l'ensemble des projets comme fil conducteur, l'optimisation n'est pas encore atteinte. Nous allons donc explorer par la suite différents leviers d'action à la disposition du paysagiste concepteur afin de limiter l'impact environnemental des matériaux choisis et mis en œuvre dans un projet, que ce soit pour de nouveaux aménagements sur terrains naturels ou agricoles, ou pour des aménagements de rénovation urbaine. « La conception du projet d'aménagement doit être interrogée dans un premier temps sur la manière d'agir afin que les choix envisagés soient les moins consommateurs et les plus vertueux possibles : choix des matériaux, éco-conception, qualité environnementale, etc »(ADEME, 2017).

2. IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES CHOIX DE MATERIAUX ET DES CHOIX DE CONCEPTION DANS LES PROJETS D'AMENAGEMENT

Lors de la phase de conception d'un nouveau projet d'aménagement sur terrains naturels ou agricoles, ou pour des aménagements de rénovation urbaine, le paysagiste concepteur fait face à un double enjeu environnemental pour tendre vers une circularité : minimiser la consommation de ressources et limiter la production de déchets, qui sont néanmoins de meilleure qualité (réemployables ou recyclables). Pour optimiser ce flux de matières, il peut agir à deux niveaux différents : soit directement sur le choix des matériaux optimisant les impacts environnementaux, soit sur des choix de conception et de mise en œuvre qui auront un impact a posteriori sur la quantité de ressources utilisées.

2.1. Une optimisation des ressources via le choix des matériaux

Le préalable à tout projet d'aménagement, intégrant l'analyse du cycle de vie, est de prendre en compte l'exploitation durable des ressources, en limitant les rejets d'exploitation et l'impact sur l'environnement pour les ressources renouvelables et non renouvelables. Bien que soumis à des contraintes économiques (prix) et normatives (pourcentage de matériaux recyclés), ainsi qu'à des critères esthétiques, techniques, patrimoniaux, de sécurité et d'usage, les concepteurs doivent choisir les matériaux en conséquence et intégrer la dimension environnementale à ce choix. Ainsi, dans l'idéal, le pré-requis pour une démarche d'économie circulaire est de privilégier des matériaux locaux, issus du réemploi (cf partie 3), du recyclage ou biosourcés. (ADEME, 2017)

2.1.1. Tenir compte de l'énergie grise et des Gaz à Effet de Serre (GES) dans le choix des matériaux

De manière générale, toute activité demande de l'énergie que ce soit sous une forme ou une autre. Les consommations énergétiques liées à la production d'un matériau ne sont pas toujours perceptibles directement et demandent parfois de s'interroger sur les besoins énergétiques de cette activité dans sa globalité. C'est pourquoi il est important d'adopter une vision globale sur le « cycle de vie » d'un matériau (ADEME, 2017).

En effet, la fabrication et la mise en œuvre des matériaux nécessaires à la réalisation des espaces publics paysagers nécessitent de l'énergie que l'on nomme énergie grise (Plante & Cité et al., 2014). C'est la quantité d'énergie nécessaire au cycle de vie des matériaux : production, extraction, transformation, fabrication, transport, mise en œuvre, entretien, recyclage, à l'exception notable de l'utilisation. Effectivement, l'énergie que nécessite l'utilisation est une énergie directe, qui ne rentre pas dans le champ sémantique de l'énergie grise, énergie indirecte par essence. L'énergie grise des matériaux, qualifiée d'indirecte ou de cachée, est donc un critère qui permet d'objectiver les choix et de réduire l'empreinte écologique du projet (Teller et al., 2014).

Aussi, la fabrication et la mise en œuvre des matériaux sont émettrices de GES, qui sont comptabilisés via l'empreinte carbone. Le concepteur veillera ainsi à réduire le recours à certains matériaux, comme par exemple l'acier et le béton, reconnus comme ayant un impact fort en termes d'émissions de GES. (Plante & Cité et al., 2014)

Plus une matière subit de transformations et intègre de multiples composants, plus elle est consommatrice d'énergies et de ressources et plus elle risque de comprendre des matières nocives pour la santé (composants volatiles) et pour l'environnement. Le choix de la sobriété d'une matière brute, peu transformée, composée de matériaux naturels et présentant une faible empreinte écologique est à privilégier. (Teller et al., 2014).

Des outils comme INIES, la base nationale française de référence sur les déclarations environnementales et sanitaires des produits, équipements et services pour l'évaluation de la

performance des ouvrages, met à disposition des Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) (Annexe I). Ce sont des documents normalisés qui présentent les résultats de l'ACV d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception. À l'heure actuelle, la base de données est relativement fournie pour des produits de construction du bâtiment, mais INIES envisage de poursuivre l'accroissement de la base de données en quantité et en qualité d'ici 2020, avec des données environnementales concernant des produits pour aménagements extérieurs et espaces verts, qui recensent déjà par exemple des revêtements extérieurs (enrobé, pierre naturelle, platelage bois, dalles béton).

2.1.2. Choisir des matériaux locaux moins impactants

Le choix des matériaux doit être intégré dans une recherche urbanistique et architecturale globale inscrivant le quartier dans son contexte (Teller et al., 2014). Les matériaux utilisés en architecture et en aménagement paysager (pierres, sable, bois...) ont longtemps reflété les particularités du sous-sol et les savoir-faire locaux. Cependant, depuis quelques décennies, la filière de la construction et de l'aménagement connaît une certaine uniformisation et recourt à des matériaux standardisés. L'utilisation de matériaux locaux permet, d'une part, de respecter les paysages en s'inscrivant dans un territoire dont les spécificités sont valorisées et, d'autre part, de valoriser les ressources locales (filière bois, carrières) tout en réduisant les coûts et les impacts environnementaux dus au transport (Plante & Cité et al., 2014).

L'influence des distances de transport sur le bilan écologique de matériaux de revêtement et les impacts environnementaux liés à leur production ont été analysés dans une étude effectuée par la société PE International GmbH.

Cette étude comparative a étudié dans un premier temps quatre structures différentes de revêtement afin de disposer d'un panel varié sur les différentes possibilités d'aménagement. Ces structures ont été considérées dans le cadre d'une implantation sur chaussée à trafic de classe 4 (entre 25 et 50 poids lourds par jour sur la voie la plus chargée) : chaussée en asphalte, pavés béton, pavés en pierre naturelle, pavés de terre cuite.

Pour ces quatre structures, l'étude considérait le cycle de vie global, de la construction au recyclage, en passant par la phase d'utilisation et d'enlèvement. Par ailleurs, les usages et les durées d'utilisation (30 ans) des structures ont été considérés comme identiques.

Concernant l'étude sur l'influence des distances de transport, cela concernait uniquement les pavés en pierre naturelle à travers quatre scénarios :

- scénario de base, à savoir utilisation de produits locaux
- scénario Chine (transport : camion sur 60km, voie ferrée sur 500km et maritime sur 19 000km)
- scénario Italie 1 (transport : camion sur 1 100km)
- scénario Italie 2 (transport:voie ferrée sur 1 000km et camion sur 100km)

Les résultats de l'étude ont montré notamment que les besoins en énergie primaire et l'impact sur le réchauffement de la planète des pavés en pierre naturelle étaient bien supérieurs à ceux des pavés en béton (voir tableau 1). Pour autant, il convient de pondérer, en partie, ces résultats. En effet, le très bon taux de réemploi des pavés en pierre naturelle (avoisinant les 90% de réutilisation après enlèvement manuel et lavage) compense les besoins en énergie durant la phase de fabrication. Ces pavés sont alors perçus comme une forme durable de revêtement. Cependant cette hypothèse ne se vérifie pas dans le cas de produits importés sur de très grandes distances. En effet, d'après le tableau 2, on constate que les importations en provenance de Chine ont un impact environnemental 2,7 fois supérieur à celui du scénario de base. De fait, les distances et les moyens de transports ont une influence considérable sur l'impact environnemental de l'aménagement. Les matériaux locaux, ne nécessitant pas de transport sur une longue distance, représentent l'hypothèse la plus « éco-favorable », et apportent par ailleurs un soutien à l'activité économique de proximité (Horticulture & Paysage, 2013)

Tab.1 : Besoins en énergie primaire et impact sur le réchauffement de la planète de 100m² de revêtement - Source : PE international GmbH (Horticulture & Paysage, 2013)

	Couche asphalté	Pavés en béton	Pavés en pierre naturelle	Pavés en terre cuite
Besoins en énergie primaire de 100m ² de revêtement (en MJ/100m ²) pendant toute sa durée de vie	117 903	44 347	87 513	46 839
Impact sur le réchauffement de la planète de 100m ² de revêtement (en kg de CO ₂ eq/100m ²) pendant toute sa durée de vie	4 040	3 169	5 485	3 025

Tab.2 : Besoins en énergie primaire du transport (MJ/100m²) pour des pavés en pierre naturelle (avec comme constantes : besoins en énergie primaire des matières premières = 43 466 MJ/100m²; besoins en énergie primaire de la construction = 504 MJ/100m²) - Source : PE International GmbH (Horticulture & Paysage, 2013)

	Scénario de base	Scénario Chine	Scénario Italie 1	Scénario Italie 2
Besoins en énergie primaire du transport (MJ/100m ²)	45 464	126 181	61 178	57 545

Enfin, les impacts liés au transport peuvent être en relation avec l'entreprise qui possède les savoir-faire de mise en œuvre. Il s'avère qu'un critère de choix de matériau pourrait effectivement être leur facilité de mise en œuvre. Plus cette dernière est sophistiquée, plus elle doit faire appel à des entreprises spécialisées, non locales et de grande taille, occasionnant alors le déplacement d'ouvriers éloignés (IBGE, 2009a).

2.1.3. Privilégier des matériaux recyclés, renouvelables et de qualité

Les ressources les plus consommées dans le secteur du paysage, telles que l'empierrement, la terre, le sable, le paillage minéral sont des ressources non renouvelables. Face à ce constat, l'utilisation de matériaux issus du recyclage apparaît comme une solution limitant les impacts environnementaux. Lors de modifications topographiques ou d'empierrement pour les sous-couches routières, les parkings, les trottoirs et les fondations de revêtement en tout genre, il est préférable d'employer des gravats issus de la démolition du secteur de la construction et des travaux publics plutôt que des matériaux issus de l'exploitation de carrière. « En 2014, 61 % des déchets inertes du BTP sont réutilisés sur un autre chantier, dirigés vers des installations de recyclage ou des carrières dès leur sortie de chantier, ce qui constitue une hausse notable par rapport à 2008 où ils ne représentaient que 49 % » (Montéréal, 2017). Dans une perspective d'une optimisation encore plus importante, la directive-cadre 2008/98/CE sur les déchets, fixe l'objectif de 70 % de valorisation matière des déchets du BTP à l'horizon 2020.

« En 2009, 15,1 millions de tonnes de déchets verts ont été produites en France dont 7 collectées par les collectivités » [9]. Ces déchets verts sont recyclés sous forme de compost qui peut alors entrer dans la composition de terre végétale pour l'aménagement d'espace de plantations.

Ensuite, lorsque la situation le permet, il est intéressant de pencher pour une alternative issue de ressources renouvelables plutôt que de ressources non renouvelables. Le terme d'éco-matériaux désigne certains matériaux sans qu'il n'y ait de définition réglementaire à l'heure actuelle. « La DREIF a donc demandé au CETE Ile-de-France de mener une étude exploratoire portant sur la caractérisation des éco-matériaux, et l'établissement d'un catalogue des produits. Le CETE a proposé une définition, fournissant ainsi le cadre de l'étude : est éco-matériau un produit dont les processus de production, de transport, de mise en œuvre,

de vie en œuvre, de fin vie, présentent globalement, face à des matériaux classiques, des performances environnementales supérieures en termes de consommation d'énergie non renouvelable, de consommation de ressources naturelles, d'émissions de gaz à effet de serre, et qui ne remettent pas en cause la santé des occupants et des professionnels assurant leur mise en œuvre. Ils peuvent être classés en :

- matériaux éco améliorés : issus d'un processus de fabrication revisité ;
- matériaux éco recyclés : utilisant des déchets pour leur fabrication ;
- éco-produits : ayant une empreinte carbone très faible, voire négative. Ce sont pour la plupart des matériaux biosourcés » (DRIEA Ile-de-France, 2010), c'est à dire issus de la biomasse d'origine végétale ou animale.

Même si actuellement, les éco-matériaux sont plus développés dans le domaine du bâtiment, la mise en œuvre de certains est envisageable dans les aménagements extérieurs. Par exemple, il sera préférable de choisir du mobilier urbain en bois issus de forêt à gestion durable plutôt que du mobilier en béton ou plastique composite. Aussi, dans l'optique de limiter la pousse d'adventice, la pose d'un géotextile peut s'avérer efficace lors des premières années de plantation. Cependant, il semble logique, dans une perspective écologique, de privilégier une toile biodégradable en chanvre plutôt qu'une toile synthétique.

Enfin, « la qualité et la durabilité des matériaux employés et mobiliers installés seront recherchées. Cette exigence de départ leur garantit une plus longue durée de vie. Elle réduit ainsi la fréquence, les coûts de gestion ultérieurs ainsi que l'impact environnemental de réparations ou de remplacements. Les remplacements étant malgré tout inévitables, vu l'usure parfois importante due aux usages, ils devront être faciles à mettre en œuvre (facilitation du démontage du mobilier, du remplacement d'une partie du revêtement du sol...) » (Plante & Cité et al., 2014).

2.1.4. La dimension environnementale des labels

Prendre en compte les critères vus précédemment dans le choix des matériaux en vue d'optimiser les ressources peut paraître difficile en tant que concepteur tant il y a de matériaux et de données associées. Pour faciliter la tâche, des labels existent afin d'aider le consommateur, ici le concepteur, à choisir ou prescrire un matériaux plutôt qu'un autre. Un label est un élément d'identification qui garantit certains aspects d'un produit ou d'un service, et qui se matérialise généralement par la présence d'un logo.

« Il convient avant tout de faire une distinction entre les labels écologiques et les déclarations environnementales. La norme ISO 14020 "Environmental labels and declarations" fixe les principes généraux portant sur les labels et les déclarations environnementales. Il existe trois types de labels et de déclarations environnementales » (IBGE, 2009b) :

- Type I – Labels : basés sur des critères fixés par des tiers, labels valorisant les produits respectant des exigences environnementales définies dans des cahiers des charges pour chaque catégorie de produits remplissant une même fonction. Ils portent sur les impacts écologiques couvrant tout le cycle de vie d'un produit, toutefois il n'est pas nécessaire d'utiliser la méthode ACV pour attribuer le label. Par exemple, des terreaux de la Florentaise sont labellisés Ecolabel Européen (fig.8), un label des plus connus de ce type. NF environnement (fig.9) distingue aussi des produits dont l'impact sur l'environnement est réduit.



Fig.8 - Logo Ecolabel Européen -
Source : (European Commission, 2017)



Fig.9 - Logo NF Environnement -
Source : (AFNOR Certification, 2012)
Wikimedia Commons

- Type II – Auto-déclarations environnementales : ne porte généralement que sur une seule caractéristique environnementale du produit, comme le caractère recyclable ou dégradable. Un des éléments qui revient probablement le plus souvent est “fabriqué à partir de x % de matériaux recyclables”. Etant donné que ces déclarations émanent du producteur ou du distributeur lui-même et à défaut d’un contrôle exercé par des tiers, la valeur de ce type de déclarations est limitée.
- Type III – Ecoprofils : consiste en la communication des performances environnementales d’un produit. Il s’agit de mettre à disposition des données quantitatives sur les impacts environnementaux du produit. C’est une restitution des résultats de l’analyse du cycle de vie du produit. Un écoprofil peut être actualisé par le fabricant pour montrer les progrès environnementaux du produit (ADEME et al., 2016).

Toutefois, à l’heure actuelle, les labels sont plus développés en ce qui concerne les matériaux de construction pour les bâtiments que pour les produits pour l’aménagement extérieur. Une évolution future de ces labels pourrait devenir un réel atout dans l’éco-conception d’espaces publics dans le choix des matériaux.

2.2. Une optimisation des ressources via des choix de conception et de mise en œuvre ayant un impact indirect sur la consommation de ressources

2.2.1. Tenir compte des caractéristiques physiques du site

Parallèlement au choix des matériaux, tenir compte des caractéristiques physiques du site, en ce compris le sol et le sous-sol, est un paramètre fondamental pour agir sur les consommations d’énergie et de ressources et pour limiter la production de déchets inhérents à la création du quartier lui-même. Pour assurer cet objectif, il convient d’adapter les projets aux pentes naturelles des terrains en limitant les excavations nécessaires à leur implantation et les techniques lourdes de construction. De ce fait, moins de mouvement de déblais et remblais signifie des économies en terme de consommation d’énergie fossile pour les engins de chantier mais également en ce qui concerne le transport hors site ou sur site des déblais et remblais. Du point de vue du nombre de kilomètres parcourus, du poids et des volumes déplacés qui sont optimisés, les économies réalisées conduisent également à une réduction de la pollution émise par tous les engins de travaux ainsi qu’une réduction de nuisances afférentes à la rotation des camions (poussières, bruit). Il s’agit donc d’étudier, de calculer et d’optimiser, au stade du projet via une étude d’incidence des volumes de terre déblayée et remblayée, les postures et dispositifs qui réduiront l’impact des déplacements de tous types (Teller et al., 2014).

Si toutefois le projet engendrait des quantités de déblais importantes, une valorisation maximale sur site est préconisée. Pour ce faire, il existe des plates-formes mobiles de concassage-criblage (fig.10) pouvant être amenées directement sur site.



Fig.10 - Concasseur-cribleur mobile pouvant être amené sur chantier -
Source : (RDS France, 2018)

Cette réutilisation de tout ou partie des déblais sur site doit être encouragée, en prêtant une attention particulière à l’intégration paysagère des profils modifiés du terrain (Teller et al., 2014). En effet, pour éviter l’impression que les déblais apparaissent comme une pièce déconnectée de son contexte géographique et topologique, des étudiants de l’ENSP ont travaillé sur la question en partenariat avec Union Nationale des Exploitants du Déchet (UNED) et ECT (une entreprise de recyclage et de stockage de matériaux inertes). A l’échelle des formes locales du territoire, une typologie a été établie, qui distingue différentes situations de relief et donc différentes possibilités de forme de stockage. Sont ainsi décrites les situations suivantes : en

appui sur un relief existant (butte témoin), en rebord de plateau, dans le versant et dans la vallée. Pour chaque cas, une ou plusieurs solutions sont présentées ci-contre (fig.11) (Hilaire, 2016). Ces solutions peuvent également être appliquées à l'échelle d'un site.

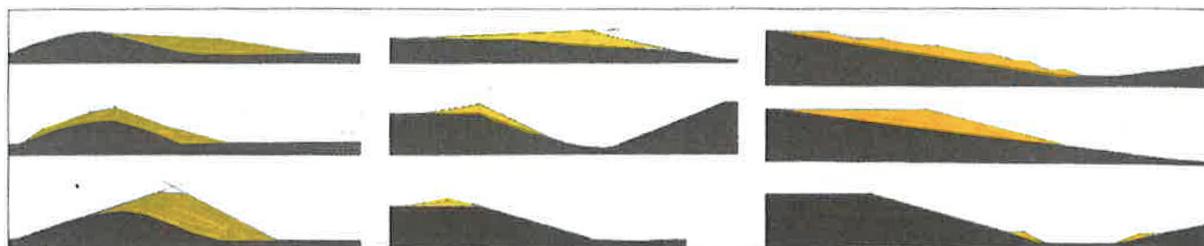


Fig.11 - Dessins des différentes manières d'installer le stockage dans des reliefs existants - Source : (Hilaire, 2016)

2.2.2. Concevoir une gestion alternative des eaux pluviales

Face aux problèmes d'inondations récurrentes dues notamment à l'accélération de l'évacuation des eaux pluviales par canalisations souterraines et imperméabilisation des sols, la conduite de l'eau de pluie directement dans des maillages bleus et verts apparaît comme une solution qui répond à la fois à ces préoccupations environnementales et à la demande croissante de nature en ville par les citoyens. Le défi à relever consiste donc à mettre en commun les savoirs des spécialistes du végétal et les connaissances des spécialistes de l'eau pour concevoir des aménagements multifonctionnels. Pour limiter les débits dans le réseau d'eau pluviale et augmenter les surfaces d'infiltration, ces « ouvrages végétalisés de gestion des eaux pluviales de proximité » peuvent prendre des formes très variées : noues, fossés, jardins de pluies, toitures végétales (Plante & Cité et al., 2014)

Au-delà des atouts environnementaux que cette gestion procure, ces choix de conception alternatifs ont un impact sur la consommation de ressources. En effet, la pose de canalisations exige l'ouverture de tranchées qui consomment des matériaux comme le gravier, le sable, les filets avertisseurs. Bien entendu, les canalisations en elles-mêmes causent aussi des consommations de matériaux tels que le PVC le plus souvent ainsi que des colles pour les différents raccords.

Lors d'interventions futures sur site, cette conception de la gestion du traitement des eaux de pluie en surface engendre moins de risques d'endommager les impétrants puisqu'il n'y a pas de présence de canalisations d'évacuation d'eau pluviale. Par conséquent, les risques d'engendrer des réparations ayant des impacts en terme de consommation de ressources à la fois matérielles et financières sont réduits.

2.2.3. Anticiper les problématiques d'accès aux impétrants

Outre les réseaux d'évacuation d'eau pluviale qui peuvent être évités, les impétrants tels que l'eau potable, le gaz, l'électricité, les égouts et les télécommunications sont généralement présents sous les chaussées urbaines. Ces dernières font l'objet d'interventions fréquentes du fait de la difficulté à coordonner les travaux des différents opérateurs. Souvent même, ces interventions donnent lieu à des ouvertures de tranchées aléatoires, parfois juste après la construction des chaussées, du fait du positionnement des réseaux souvent mal connu des concessionnaires concernés en raison de l'inexactitude, voire de l'inexistence, de plans de recollement antérieurs. Il en résulte, en plus des coûts importants pour les maîtres d'ouvrage et d'un aspect type « patchwork » du revêtement de surface, un gaspillage de matériaux nobles utilisés pour les tranchées, difficilement compatible avec une démarche de développement durable (Cimbéton, 2008)

Pour remédier à cette problématique, des choix lors de la conception de nouveaux quartiers, peuvent être en faits en vue d'économiser des ressources lors d'intervention futures de maintenance, de réparation, de modernisation ou de modification des impétrants. L'accès peut être facilité selon le revêtement et la structure de la fondation choisis et mis en œuvre.

En ce qui concerne la voirie, la chaussée traditionnelle en enrobé peut être substituée par la chaussée urbaine démontable (CUD), inspirée des traditionnels pavés. Ouverte en peu de temps puis refermée en quelques heures seulement avec un équipement de chantier léger (fig.12), la CUD facilite l'accès aux différents réseaux (fig.13), tout en diminuant la gêne occasionnée aux riverains et aux usagers lors des travaux. Son principe : associer un revêtement en dalles béton hexagonales réutilisables avec une assise en grave-ciment ré-excavable. Les dalles béton, toutes pré-fabriquées, sont épaisses de 20 cm et leur longueur de 77 cm de chacun des six côtés a été calculée pour être en parfaite cohérence avec la largeur de la chaussée et avec le poids maximal admissible de 800 kg par dalle. Elles sont indépendantes entre elles, ce qui facilite les opérations de démontage-remontage. En ce qui concerne la grave ciment, elle offre une structure présentant un durcissement rapide afin de pouvoir rétablir rapidement le trafic après le chantier, tout en évitant un durcissement supplémentaire à long terme, phénomène qui compromettrait les excavations ultérieures.

Une telle structure (fig.14) est conçue pour endurer le passage de 120 000 poids lourds durant les 30 années de service prévues, ce qui correspond à 11 poids lourds par jour, Ainsi, cette voirie est envisageable dans un éco-quartier, dont le trafic effectif n'excède pas ces chiffres (Cimbéton, 2008).



Fig.12 - Levage des dalles effectué à l'aide d'un engin de chantier muni d'un système de ventouse – Source : (Cimbéton, 2008)



Fig.13 - Intervention sur un réseau sous la CUD – Source : (Cimbéton, 2008)

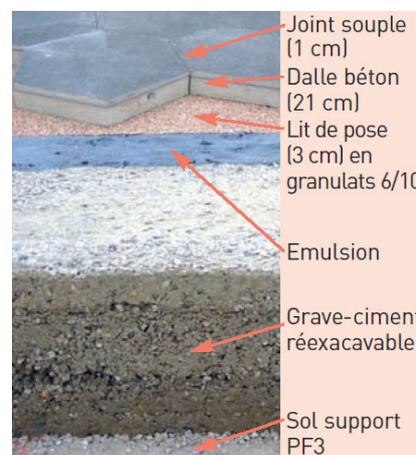


Fig.14 - Structure de la CUD – Source : (Cimbéton, 2008)

Finalement, le choix de la CUD, qui fait preuve de modularité et de facilité d'entretien par simple remplacement d'une dalle endommagée, implique des économies de ressources a posteriori lors des interventions sur les réseaux qui se trouvent réduites et facilitées. « En même temps, on préserve la longévité de la voirie, ainsi que l'aspect visuel et technique des surfaces de roulement » (Cimbéton, 2008).

2.2.4. Favoriser des usages et comportements aux impacts environnementaux réduits

Le paysagiste concepteur, à l'étape de la conception, « tient entre ses mains », ou du moins a la capacité de pouvoir influencer le futur comportement des usagers du lieu selon le choix des aménagements.

Grâce à une programmation ciblant la mixité au sein d'un même quartier, la proposition de logements, de commerces et de services de proximité va largement contribuer à influencer le comportement des usagers en les incitant à privilégier les déplacements actifs et doux car les trajets seront courts. Les déplacements actifs sont sans apport d'énergie autre qu'humaine (sans moteur : marche à pied, vélo, rollers, skate, trottinette,...). Pour les grandes distances, lorsqu'on associe des formes de mobilité active à des moyens de transports motorisés tels que les transports en commun, ou assistés, par exemple, les vélos à assistance électrique,

on parle de mobilité douce ou de circulations douces. Cette programmation est donc corrélée avec des formes d'aménagements que le paysagiste concepteur intègre au projet de quartier durable par exemple. Les espaces de circulation partagée, les pistes cyclables et les zones piétonnes sont donc développés de manière plus significative au détriment de la voiture.

Plusieurs conséquences indirectes émanent alors de ces choix de conception. « La diminution des déplacements motorisés individuels au profit de pratiques de mobilité active réduit la consommation énergétique des habitants et participe à la réduction des émissions de CO₂. Cela contribue également à diminuer la dépendance vis-à-vis des ressources énergétiques non renouvelables » [10]. Les villes sont donc moins congestionnées par les voitures aux heures de pointes, ce qui rend plus efficace les transports publics de surface et réduit par la même occasion les nuisances sonores. De plus, les espaces de circulation et de stationnement des modes de déplacements actifs ont moins d'emprise que les aménagements pour la voiture et leur structure souterraine est moins conséquente. Cela génère donc moins de consommation de matériaux et limite de surcroît la surface des zones imperméabilisées [10].

Dans la plupart des villes, la majorité des déplacements se font sur de courtes distances. D'après des chiffres de Bruxelles Environnement en 2007, dans la capitale belge, 65% des déplacements concernent des distances inférieures à 5 km et 25 % des distances inférieures à 1 km. Il apparaît alors évident que ces déplacements sont envisageables de manière active ou douce. Le paysagiste concepteur, accompagné de l'urbaniste, peut donc agir sur le plan de circulation afin de défavoriser la voiture au profit du vélo, à l'instar de la ville de Louvain, en Belgique. Comme on peut le voir sur le plan ci-contre (fig.15), Louvain a mis en place des boucles de circulation pour mener le trafic automobile du ring au centre puis du centre au ring, rendant la ville accessible et habitable. En mai 2016 et mai 2017, une agence de mobilité a effectué des comptages de trafic dans 71 endroits différents du centre-ville et du ring.

Sur une journée moyenne en semaine, il y a 26% de circulation de vélos en plus sur le périphérique et 32% de plus dans le centre-ville. Les niveaux de circulation automobile dans le centre-ville ont donc diminué, tandis que le nombre de vélos a augmenté. Le nombre de piétons est resté à peu près le même, tandis que l'utilisation des bus a augmenté de 12% [11].

Ainsi, le paysagiste peut avoir une influence sur la réappropriation de la ville par ses habitants via une mobilité plus économe en ressources qui joue également un rôle important dans l'activation des espaces publics et favorise le sentiment de sécurité et de qualité de vie qui se dégage d'un quartier ou d'une ville [10].

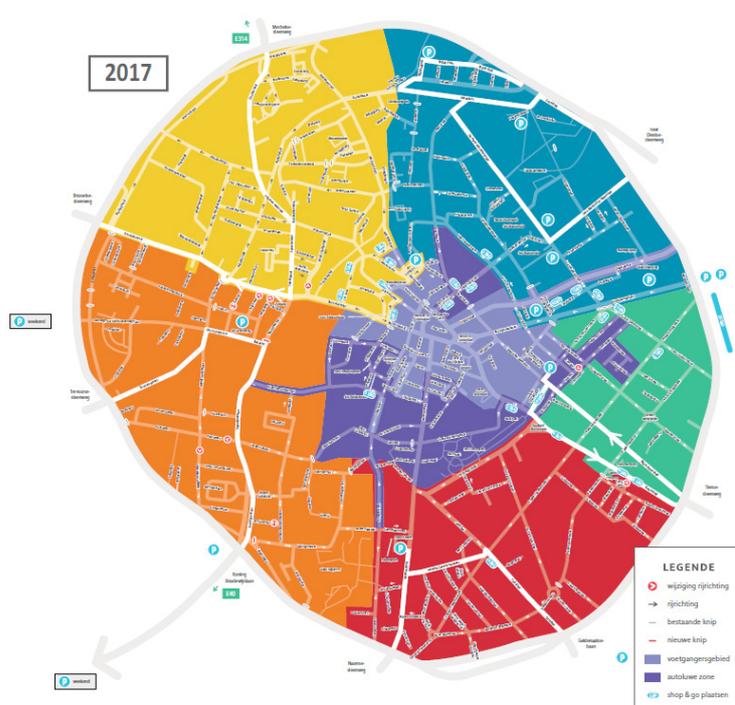


Fig.15 - Plan de circulation de Louvain (Belgique) – Source : [11] (Eltis, 2017) - Image credit : Stad Leuven

2.2.5. Concevoir en pensant à une réversibilité, flexibilité et résilience

Jusqu'à présent, nous avons démontré qu'en actionnant différents leviers au travers de l'éco-conception, le paysagiste peut optimiser la consommation de ressources. De surcroît, la réflexion sur le cycle de vie qu'induit l'éco-conception, permet une approche de la construction visant à anticiper la fin de vie de l'aménagement, en pensant à une séparation facile des matériaux ou composants, facilitant ainsi le recyclage et le réemploi (design for recycling et design for reuse). Nommée *Design for Deconstruction* (DfD), littéralement « concevoir en vue de la déconstruction », cette approche porte l'intention dès la conception de limiter la production de déchets lors de la déconstruction, et donc indirectement de minimiser une future consommation de ressources (Paduart et al., 2015).

Pour ce faire, le paysagiste concepteur se doit de sélectionner des matériaux en fonction de leur potentiel de réemploi ultérieur. Ils se doivent alors d'être facilement démontables et réutilisables tels quels ou avec une dépense réduite de nouvelle énergie ou de nouvelle matière d'assemblage, avoir une durée de vie relativement longue pour pouvoir être réemployés sur une échelle de temps de plusieurs projets (IBGE, 2009a). Les modes constructifs et de mise en œuvre doivent également être pris en considération dans la conception. Par exemple, il est préférable de privilégier des assemblages mécaniques à des scellements chimiques pour ce qui concerne le mobilier urbain. En terme de revêtement, des pavés sont plus aisément remplaçables qu'un enrobé. Ainsi, des aménagements sont dit « légers » lorsque la réversibilité est envisageable.

Cette réversibilité peut prendre forme à travers des aménagements éphémères de l'espace. « Transformer pour quelques jours, voire quelques semaines, une place de mairie en une vitrine végétale à destination du grand public revient ni plus ni moins à jouer sur la réversibilité des aménagements. Des friches jusqu'alors délaissées, deviennent également des lieux « flexibles » : des jardins y poussent, des expositions artistiques y naissent... » (Vidril, 2016) Bien que la conception soit majoritairement envisagée sur un temps long, dans certains cas, la maximisation de l'usage peut être envisagée à travers des aménagements éphémères. Cela offre des possibilités d'occuper et de vivre l'espace urbain avant de s'engager sur des processus à tendance irréversible qu'impliquent des projets d'aménagement. C'est un moyen d'adapter l'aménagement aux usages plutôt que de produire un aménagement qui présuppose de potentiels futurs usages parfois en dehors de la réalité (ADEME, 2017). Ces aménagements éphémères mettent donc en lumière la flexibilité d'un lieu qui l'est important d'intégrer dans le processus de conception.

Enfin, si le projet d'aménagement est conçu dans une perspective de résilience, cela signifie que par la capacité de l'aménagement à surmonter une perturbation comme par exemple des inondations, il n'y aura pas de dégradation de l'aménagement engendrant une consommation de ressources matérielles et financières. Le caractère réversible, multifonctionnel et résilient d'un aménagement va alors indirectement générer une optimisation de la consommation de ressources et de production de déchets.

Mis en avant à travers cette deuxième partie, l'objectif principal du concepteur, via l'éco-conception, est de consommer le moins de ressources possible et de produire le minimum de déchets lors de la réalisation d'un aménagement durant la phase chantier et d'anticiper un futur recyclage ou réemploi. Si dans un premier temps l'objectif est tel que cité ci-dessus, dans un second temps, l'objectif est de valoriser sur le site tous les déchets qui peuvent l'être en les considérant comme des ressources pour le projet, ne nécessitant pas de transport. Il s'agit d'un changement important de regard, ou comment redonner de la valeur (esthétique, économique) à des matériaux issus de la déconstruction, à des débris végétaux issus de la taille. Ils peuvent trouver une seconde « vie » dans le nouvel ouvrage, à condition d'avoir fait l'objet d'un diagnostic attentif. (Plante & Cité et al., 2014). C'est ce que nous allons détailler dans la troisième partie dédiée au réemploi.

3. LE REEMPLOI COMME LEVIER D'ACTION DU PAYSAGISTE – CAS DE L'ECOQUARTIER DE CORONMEUSE (LIEGE)

3.1. Le projet dans son contexte

3.1.1. Contexte du site d'étude

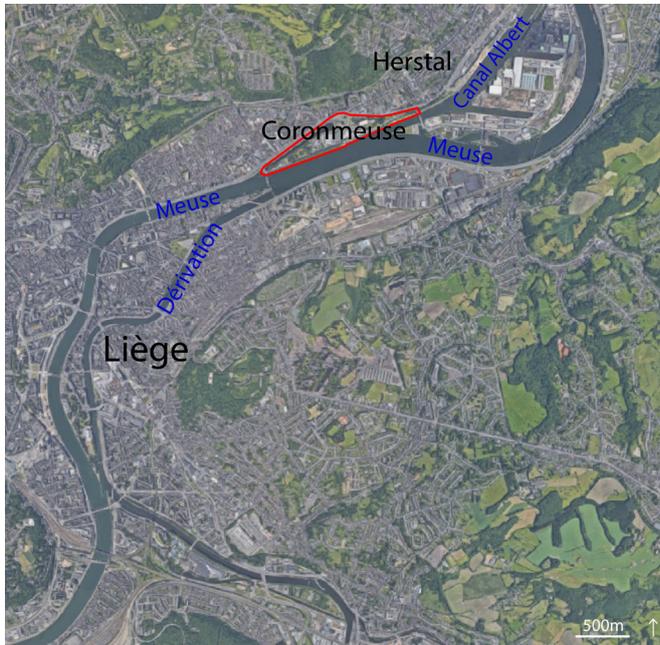


Fig.16 - Plan de situation du quartier de Coronmeuse à Liège -
Source : (Tanguy Sorre, 2018)

Coronmeuse est un sous-quartier de la ville de Liège, en bordure du centre historique, situé en rive gauche de la Meuse et il est à la limite Nord de la ville avec la commune de Herstal, comme on peut le voir sur la figure 16. Le quartier a été urbanisé lors des expositions internationales de 1930 et 1939, événements historiques qui ont marqué le quartier. Le Palais des Sports ou Grand Palais (qui a abrité une patinoire aujourd'hui à l'abandon) qui est l'ancien Palais des Fêtes de la Ville de Liège lors de l'exposition de 1939 dû à l'architecte Jean Moutschen, la plaine de jeux Reine Astrid (dont le bâtiment qui sert d'école aujourd'hui est nommé l'Équerre) et le parc Astrid sont les derniers vestiges architecturaux de l'époque. A l'heure actuelle, on y trouve également les Halles des foires de Liège ainsi que l'école Léona Platel.

La zone urbaine centrale de Liège s'est étendue au fil du temps. Elle s'arrête aujourd'hui à Herstal, point de rupture où le bâti urbain dense se prolonge par une zone d'urbanisation plus lâche. Le site de Coronmeuse, qui se situe précisément à cette charnière, s'étend sur 25 hectares dont les limites en rouge sur la figure 17 sont les suivantes : le quai de Wallonie, le pont Atlas, le quai de l'Île aux Osiers (déduction faite de la Darse, propriété des voies hydrauliques DGO2), le quai de Coronmeuse, le Boulevard Ernest Solvay et le pont Marexhe.

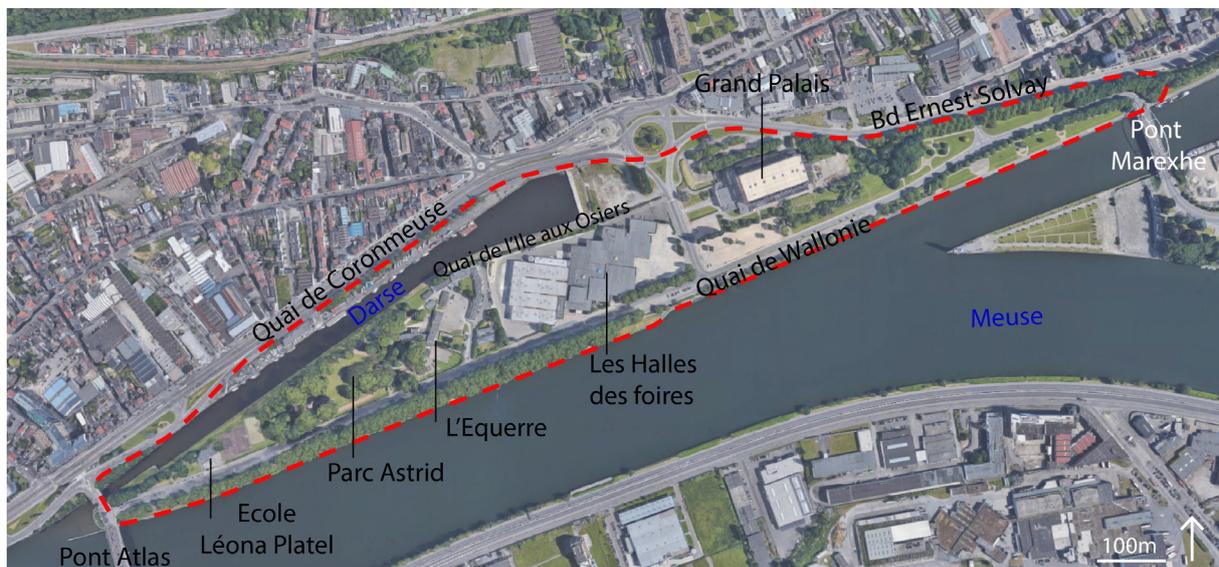


Fig.17 - Plan du site existant de Coronmeuse et ses limites - Source : (Tanguy Sorre, 2018)

3.1.2. Un des projets d'écoquartier les plus ambitieux de Wallonie

Le site de Coronmeuse est un territoire sous-occupé, manquant de cohérence et d'identité, caractérisé par des aménagements peu valorisants, beaucoup d'espaces résiduels, un environnement au potentiel non-exploité et apportant aujourd'hui peu de plus-value pour la collectivité. L'ambition de la ville de Liège est donc de créer un écoquartier, lieu de vie animé et attractif, défendant des objectifs de qualité et de diversité porteurs de nouvelles valeurs, d'une identité forte et d'un souffle architectural contribuant à l'image du renouveau de la métropole liégeoise. La démarche vise la réalisation d'un nouveau lieu « d'intensité urbaine », sans équivalent à l'échelle du territoire de l'agglomération. La réhabilitation d'une friche de cette ampleur - en centre urbain et qui plus est en bordure d'eau - et l'image résolument moderne et responsable qu'elle entend porter, sont deux éléments plaidant encore en faveur d'un projet fort et cohérent. La restauration d'édifices hérités de l'Exposition de 1939 concourt également à la mise en œuvre d'une politique de recyclage des édifices patrimoniaux et constitue un ancrage du nouveau développement dans la mémoire du lieu (Ville de Liège, 2013).

Labellisé « Quartiers Nouveaux » (sorte d'équivalent du label Ecoquartier en France), le quartier, dont on peut voir le plan masse ci-contre (fig.18), développera notamment 1325 unités de logements de 6 types différents (appartements, maisons unifamiliales, habitats groupés, logements « kangourous », maisons ateliers et lofts urbains). Les seuls types de commerces présents sur le site seront des commerces de proximité, de l'HoReCa (Hôtellerie, Restauration, Cafés) et des commerces de circuit court ou de production locale. D'autres types de services à la personne seront également au rendez-vous : hôtels, résidences services, maisons de repos et de soins, crèches, maison de quartier, marché bio couvert, potagers urbains, atelier de réparation de vélos... La mobilité douce et active sera développée avec l'arrivée du tram ainsi que le développement d'un réseau de pistes cyclables raccordé à l'existant. L'usage de la voiture quant à lui sera limité.

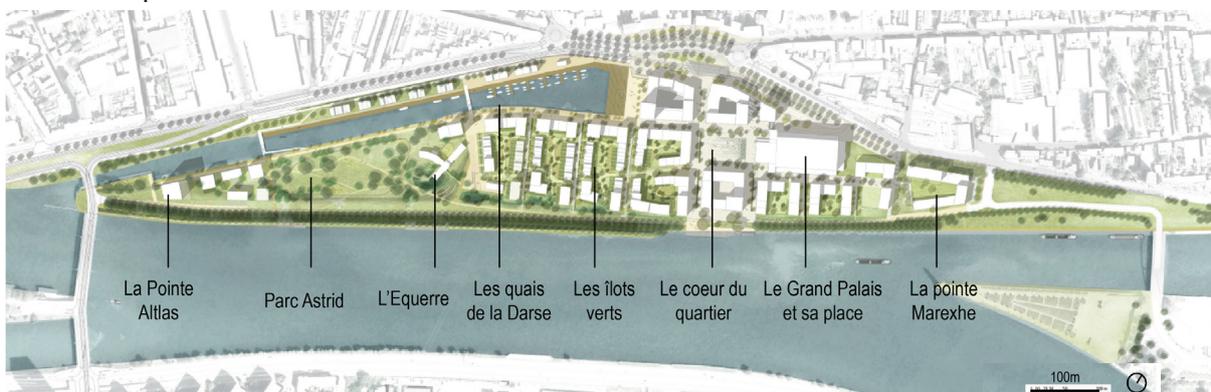


Fig.18 - Plan masse du projet d'écoquartier de Coronmeuse - Source : (BUUR, 2017)

Plus globalement, la ville de Liège exprime clairement son intention de favoriser le développement d'une économie circulaire à travers l'expérience de l'écoquartier de Coronmeuse dont la stratégie de développement est la durabilité. Cette dernière est abordée à travers cinq thématiques (fig.19) dans le projet de Coronmeuse, dont les matériaux et les déchets font partie intégrante, avec l'énergie, l'eau et l'alimentation. Le site de Coronmeuse étant déjà aménagé, c'est le levier du réemploi que BUUR, en tant que paysagiste concepteur, actionne pour optimiser l'impact environnemental du nouveau projet. Lors de la construction des bâtiments, les matériaux issus de la démolition des bâtiments existants non conservés et des espaces publics seront récupérés et réutilisés autant que possible (BUUR, 2017).

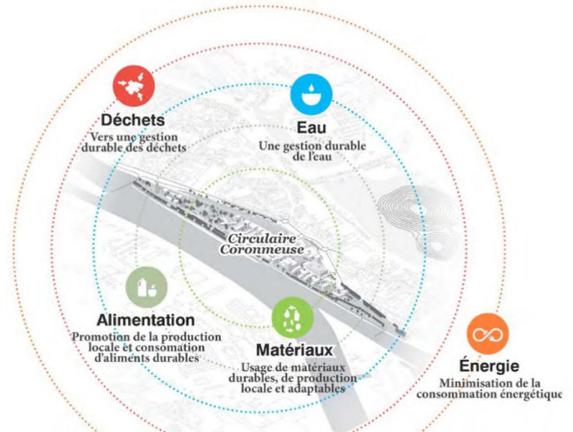


Fig.19 - Infographie montrant les 5 thématiques pour favoriser une économie circulaire via le projet d'écoquartier de Coronmeuse - Source : (BUUR, 2017)

3.2. 3.2. Pourquoi préférer le réemploi au recyclage ?

3.2.1. Une hiérarchisation des modes de traitement

Conformément à la directive européenne sur les déchets 2008/98/CE, la hiérarchie des modes de traitement doit être mobilisée (fig.20) : prévention ; préparation en vue de la réutilisation et du réemploi ; recyclage ; autre valorisation (notamment énergétique par incinération) ; élimination. Dans la gestion des matériaux dont l'objectif est de préserver au maximum les ressources en matières et réduire au minimum les nuisances sur l'environnement, les actions à mener sur les chantiers sont en priorité les suivantes (CIFIUL et al., 2013):

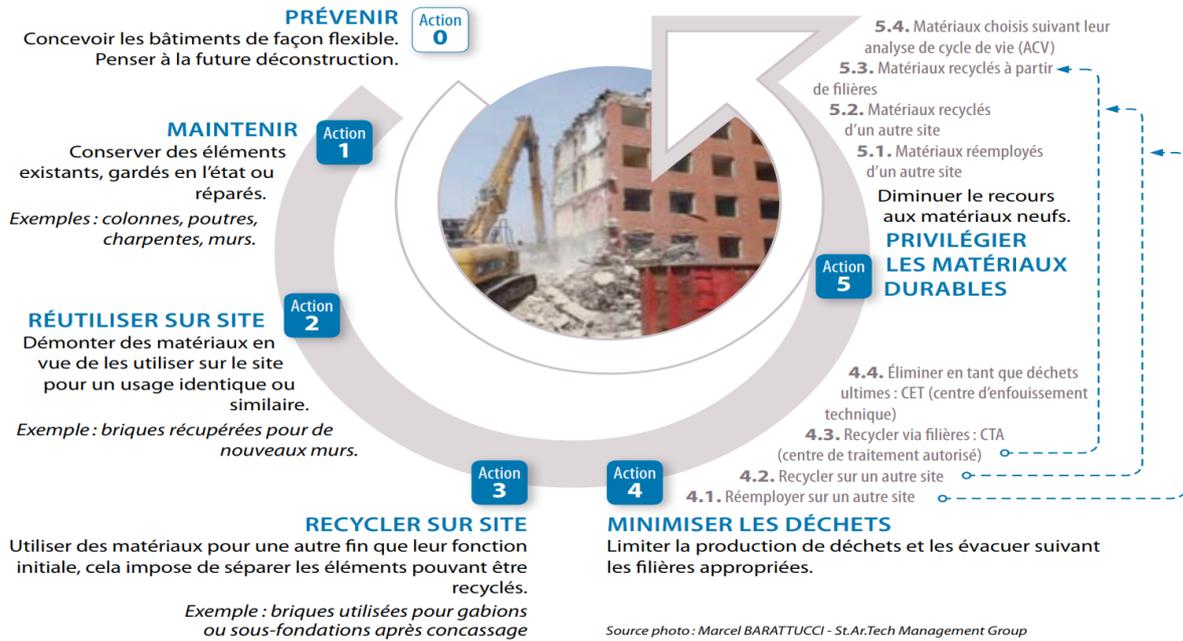


Fig.20 - Schéma de la hiérarchie de prévention et gestion des déchets - Source : (CIFIUL et al., 2013)

En effet, cette hiérarchie de la gestion des déchets de chantier provient d'un raisonnement issu des conséquences du consumérisme. Dans un système de consommation de masse, les quantités de déchets produites, rassemblées et concentrées dans des décharges ou centres d'enfouissement techniques (CET) posent rapidement des problèmes d'accumulation et de saturation. De plus, les mises en CET sont de plus en plus onéreuses. En pratique, depuis les années 80, c'est le recyclage qui prend de l'ampleur avec notamment le concassage des déchets inertes, représentant des quantités importantes en aménagement du paysage qui ne sont alors plus enfouies. Les importantes quantités de granulats produites débouchent sur une trop grande concurrence sur le marché et le prix d'une tonne de granulats mixtes 0/40mm se revend à 0€/t. Il advient donc d'effectuer un tri plus rigoureux ou même de s'orienter vers le réemploi in situ. Ce dernier apparaît ainsi comme une stratégie préférentielle de réduction de la quantité de déchets, présentant de nombreux avantages (Rotor et al., 2018).

Toujours dans la directive 2008/98/CE, le réemploi est défini comme « toute opération par laquelle des produits ou des composants qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus ». « Une nuance est faite avec le terme de réutilisation qui se base sur des déchets qui à la suite d'une préparation peuvent être remis en œuvre, mais avec plus de liberté, car la fonction d'origine n'est plus nécessairement à conserver » (Chiron, 2017). Ainsi, dans ce mémoire, nous rassemblons les termes réemploi et réutilisation dans une dimension élargie comme moyen d'éviter de produire des déchets, et lorsqu'ils ont lieu in situ, d'éviter de consommer de l'énergie pour le transport.

3.2.2. Le réemploi limiteur de l'entropie

Le recyclage consiste en un procédé industriel permettant de transformer des déchets en matière première. La structure du matériau est détruite via un apport en énergie comme lors du concassage, et la matière ainsi obtenue est utilisée pour produire un nouveau matériau, souvent différent du matériau de départ, comme par exemple une bordure en pierre recyclée en gravier (Paduart et al., 2015). La démolition d'un aménagement lors d'une rénovation urbaine entraîne une perte des valeurs d'usage et d'échange des matériaux en comparaison avec leurs fonctions et leurs usages initiaux. Dans la plupart des cas, des éléments qui assuraient une fonction structurelle ou de revêtement deviennent, une fois recyclés par concassage ou broyage, du matériau de remplissage pour des travaux de remblais ou des sous-couches de fondations. Cette dépréciation se manifeste également sur un plan économique (Rotor et al., 2018).

Au début de la partie 2, la question de l'énergie grise a été développée. Cette notion peut être assimilée à ce qu'on appelle également le « carbone embarqué », comme si le matériau intégrait, en plus de la matière physique dont il est constitué, une sorte d'ardoise reprenant sa note en matière de participation à l'effet de serre lors de son cycle de vie. Ainsi, lors du recyclage d'un matériau par dégradation de celui-ci, c'est quelque part dilapider un investissement antérieur, autrement dit dissiper l'énergie grise que contenait ce matériau (Rotor et al., 2018).

On peut alors entrevoir la notion d'entropie. En thermodynamique, l'entropie décrit l'état de désordre d'un système. On admet le caractère irréversible de la production d'entropie dans un système fermé. En d'autres termes, si tout est destiné tôt ou tard à redevenir poussière, les activités de l'Homme peuvent également accélérer ce processus de lente dégradation que le temps aurait fini par accomplir après plusieurs siècles. C'est le cas du recyclage et de la démolition qui impliquent une dégradation de la forme (Rotor et al., 2018).

Dans un contexte d'économie matérielle circulaire, une forme donnée lors de la fabrication doit être considérée comme un capital. Plus ce capital est sophistiqué – plus il a été « informé » - plus il ouvre des possibles. Ce sont ces possibles qu'il convient de préserver. La forme d'une brique cuite comparée à celle d'une brique crue embarque plus d'énergie grise mais aussi un travail « d'information » plus conséquent. Cette notion d'information complète utilement les notions d'énergie grise et de carbone embarqué. Cette approche permet d'aborder les éléments de construction non seulement sous l'angle de l'énergie qu'ils consomment et des impacts qu'ils provoquent, mais aussi du travail, de l'intelligence et des manipulations expertes dont ils sont les fruits. Dans le meilleur des cas, la logique du réemploi permet de conserver intacts ces différents capitaux. Préserver l'intégrité formelle d'un élément n'est pas qu'une façon d'amortir ses impacts environnementaux sur une plus longue durée, c'est aussi une façon de prendre en considération un patrimoine plus conséquent et plus complet (Rotor et al., 2018).

3.2.3. Le réemploi transmetteur de valeurs culturelles

L'application du réemploi permet de conserver au maximum la complexité de la matière pour conserver sa mémoire. Par mémoire on entend l'information que la matière va transmettre lors de sa mise en œuvre dans un second cycle de vie. C'est cette mémoire qui va être en capacité d'amener une dimension culturelle dans la matière en elle-même. Ainsi, l'objet réemployé est porteur de signification, de symbolique et d'histoire (Delmée, 2017).

La dimension culturelle, souvent identifiée comme quatrième pilier du développement durable, implique la question du patrimoine, qui est considéré comme ce que l'on conserve du passé en vu d'être transmis. Le réemploi, dans sa posture, sa pratique, l'attitude qu'il suppose, aborde le patrimoine historique « monumental », le patrimoine banal ainsi que le patrimoine culturel généré par le quotidien des habitants : la considération des débris issus de démolitions ou de déconstructions nous immerge dans la question de la transmission de la mémoire. Le matériau

ainsi réemployé transmet du patrimoine matériel (histoire et techniques de construction, histoire des matériaux) et immatériel (savoir-faire, histoire sociale) (De Guillebon, 2016).

Le réemploi de matériaux trouvés localement peut donc renforcer l'identité du lieu, en transmettant soit un savoir-faire local, soit un matériau typique du sous-sol caractérisant le terroir dans lequel le site s'inscrit, soit l'histoire que le site a connue. En ce qui concerne le site de Coronmeuse, nous savons qu'il a été le lieu de deux expositions internationales et que des bâtiments témoins de cette époque sont encore présents à l'heure actuelle. Remettre en valeur ces bâtiments et réemployer une partie de leurs matériaux pour l'aménagement des espaces publics participent à cette transmission culturelle. Par exemple, les plaques de terre cuite rouge de la façade du Grand Palais (fig.21) pourraient être réemployées comme habillage de soutènement des espaces paysagers.

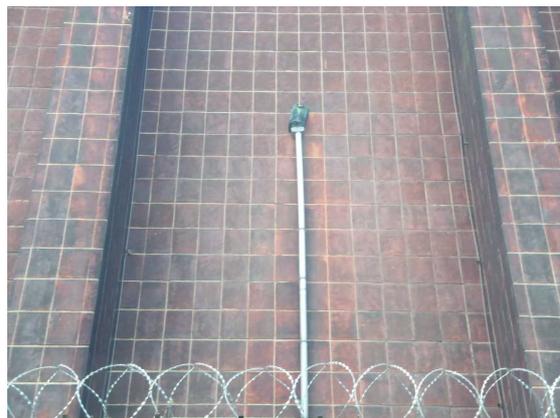


Fig.21- Plaques de parment en terre cuite des façades du Grand Palais à Coronmeuse -
Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018

3.3. L'inventaire : point de départ du changement de vision vers la circularité du réemploi

3.3.1. La ville vue comme un gisement urbain

Nul site n'étant vierge, tout projet de renouvellement urbain se voit disposer d'une quantité de matières et matériaux déjà présents qu'il va falloir préserver, déplacer, réutiliser, détourner, transformer, recycler ou évacuer. Il s'agit ici d'aborder le terrain – bâti ou non – en s'interrogeant prioritairement sur la manière la plus adéquate d'exploiter la réserve de matières et de matériaux qu'il représente (IBGE, 2009a). Si il y a un projet de renouvellement urbain, c'est bel et bien que l'aménagement actuel n'est plus en accord avec les usages du lieu, qu'il n'est plus adapté ou bien qu'il présente des détériorations : il est en quelque sorte tombé en désuétude. Cette logique évoque la notion de déchet, qui on le rappelle, est définie par « toute substance ou tout objet dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Dans ce cas, c'est la maîtrise d'ouvrage (par exemple une ville pour le cas d'espaces publics) qui souhaite se défaire de l'aménagement.

C'est à ce moment que l'action du réemploi implique un changement de vision concernant les matériaux. En effet, l'aménagement peut certes être obsolète, mais les matériaux qui le composent peuvent encore avoir une valeur. Il advient donc de voir le déchet comme une ressource. Si l'on étend cette vision à l'ensemble d'une ville, on peut alors la considérer comme une accumulation de matière dans laquelle on peut venir puiser, une conception qui représente la ville sous la forme d'une gigantesque carrière composée d'une succession de couches de matériaux (Rotor et al., 2018).

3.3.2. Inventorier les matériaux sur site

Afin d'évaluer les gisements et matériaux potentiels, un travail d'identification préalable doit être entrepris et prend souvent la forme d'un inventaire, éventuellement assorti d'une liste de recommandations. Contractuellement, il s'agit d'une mission qui relève de l'assistance à maîtrise d'ouvrage (Rotor et al., 2018). Dans le cas de Coronmeuse, un inventaire a été réalisé, principalement dans le but d'estimer le coût de viabilisation du site, puis fourni à BUUR en parallèle d'un plan de l'existant (en dwg). Cet inventaire reste sommaire, avec des quantités globales, sans précisions sur la qualité des matériaux, ni photos jointes. Le plan dwg

quant à lui ne présentait pas une organisation des calques permettant de définir la qualité des différents tracés. Par exemple, un calque regroupait tous les tracés correspondant au fil d'eau des bordures sans indiquer de quel type de bordure il s'agissait. De surcroît, les différents revêtements n'étaient pas tous dessinés, certains se dessinant grâce aux limites d'un autre composant. Par exemple, les bordures de la piste cyclable sont dessinées, sans que la piste en elle-même le soit, ce qui ne permet pas de réaliser un métré de la surface de piste cyclable.

Aussi, en 2016 à Seattle, Dirk Wassink, un revendeur local d'éléments de construction du réemploi a procédé, pour le compte de la fédération américaine des acteurs du réemploi (BMRA), à l'analyse statistique de 1073 demandes de permis de transformation ou démolition déposées, pour lesquelles un inventaire doit être obligatoirement joint en vue d'identifier les possibilités de réemploi. L'une des conclusions est qu'il existe une très forte corrélation entre l'identification d'un potentiel pour le réemploi et le profil de la personne qui dresse l'inventaire. Une entreprise de revente des matériaux a tout intérêt à évaluer finement le potentiel de réemploi lors de cet inventaire dans la mesure où elle est susceptible d'en bénéficier directement lors d'une éventuelle transaction ultérieure. A l'inverse, il est compréhensible que le propriétaire, comme la ville de Liège pour Coronmeuse, soit moins enclin à y voir du potentiel puisqu'elle a pris la décision du renouvellement urbain, sans doute parce qu'elle n'accordait plus de valeur à l'aménagement (Rotor et al., 2018).

C'est pour ces deux raisons que BUUR, en tant que maître d'œuvre, a entrepris de réaliser un inventaire plus détaillé des matériaux présents sur site (disponible en annexe III). La méthodologie de l'inventaire est simple mais le processus est relativement chronophage. Une première visite sur site a eu lieu afin de découvrir le site, en appréhender la taille et de recenser les premières impressions. Ensuite, une deuxième visite s'est déroulée, cette fois-ci de façon plus méthodique. Muni des plans de l'existant, d'un appareil photo et d'un carnet de notes, le but était de collecter un maximum d'informations (nature des matériaux, localisation précise) qui puissent par la suite fournir un relevé plus détaillé. Ensuite, un travail en bureau peut alors commencer. Il s'agit de reporter sur le plan dwg les informations qui débouchent sur la réalisation d'un métré relativement précis des matériaux présents sur site, illustré par des photos présentant les caractéristiques des éléments. Dans le cas de Coronmeuse, une attention particulière a été portée sur les différents matériaux de revêtement, qui représentent des quantités conséquentes.

3.3.3. Estimation de la valeur et du potentiel de réemploi des matériaux

Désormais, la question est de savoir comment déterminer la valeur d'un élément inventorié pour savoir s'il est réemployable ou non. L'un des premiers paramètres à prendre en considération est certainement la demande. En effet, dans une optique idéaliste, tout matériau est réutilisable dès le moment où une demande pour le réutiliser est prononcée par au moins un acteur du marché à un moment donné. Cette approche permet d'éviter de faire des investissements à perte, c'est-à-dire fournir l'effort d'un démontage mais ne jamais trouver de repreneur pour l'élément en question (Rotor et al., 2018). Néanmoins, même si une demande existe, d'autres critères rentrent en compte pour distinguer un matériau réutilisable par rapport à un matériau qui ne l'est pas.

En premier lieu, des critères peuvent mettre en évidence des incompatibilités dues à la nocivité du matériau lui-même (exemple de l'amiante), à la nocivité liée à l'atmosphère dans laquelle s'est trouvé le matériau, au démontage qui provoque un risque pour l'environnement ou encore à la présence d'une pathologie grave (exemple de champignons dans le bois). Ce sont donc des critères dits d'exclusion dès lors qu'il n'est plus envisageable de réemployer ces matériaux. L'obsolescence, qui caractérise un élément lorsqu'il ne répond plus aux normes techniques qui lui sont imposées, peut être considérée comme un critère d'exclusion en ce qui concerne le réemploi. Cependant, on pourrait imaginer que cet objet obsolète soit détourné pour être réutilisé. Ainsi, le nouvel usage que l'on fait de l'objet ne doit pas être altéré par ce qui le rendait obsolète au départ (Delmée, 2017).

En deuxième lieu, le facteur économique tient un rôle prépondérant. Le plus souvent, un matériau ne sera pas intéressant pour le réemploi si son prix de revente sur le marché de seconde main est très proche du prix de l'équivalent neuf. En effet, le prix d'un matériau de seconde main comprend les investissements nécessaires au démontage et à la préparation au réemploi (emballage, transport, préparation, documentation, stockage...). Cependant, un objet réemployé peut présenter une valeur ajoutée telle que la rareté du matériau, le patrimoine véhiculé, l'appréciation particulière de la patine ou de l'usure ou bien les qualités supérieures du matériau dues à un processus de fabrication qui n'existe plus (exemple des briques belges produites avant 1974 dont la température de cuisson plus élevée qu'aujourd'hui leur conférait plus de résistance) (Rotor et al., 2018). Dans ces cas particuliers, un élément de réemploi peut donc avoir une valeur économique plus élevée qu'un élément neuf. Aussi, pour des questions d'éthique et de durabilité, certains projets inscrivent le réemploi au cœur du processus, et cette démarche, allant au-delà des considérations économiques, admettra que le projet coûte un peu plus cher qu'un projet neuf (Delmée, 2017).

En troisième lieu, outre les aspects précédents, les critères techniques d'un matériau déterminent son caractère réemployable. Seront pris en compte la conservation des caractéristiques mécaniques du matériau, sa facilité à être démonté, manipulé, transporté, stocké puis remis en œuvre. Une éventuelle préparation au réemploi comme un redimensionnement influence également la possibilité de réemploi (Delmée, 2017). Sur le plan strictement technique, très peu d'éléments sont absolument impossibles à démonter. Par conséquent, tout l'enjeu est de parvenir à garder ces moyens techniques dans des proportions qui n'affectent pas la rentabilité économique de l'opération (Rotor et al., 2018).

Enfin, le critère organisationnel et le critère temporel agissent sur le potentiel de réemploi d'un élément. Le premier dépend du timing accordé à la phase de démontage dans le planning de chantier qui joue un rôle crucial dans ce qui pourra être démonté et récupéré. Le second, dans le cas de réemploi ex situ, dépend de la fluctuation des quantités de matières réemployables disponibles sur le marché. Dans le cas de réemploi in situ, il n'est pas rentable d'intervenir pour peu de matière. Cependant, ces critères ne sont pas intrinsèquement liés au potentiel de réemploi d'un matériau en question (Delmée, 2017).

3.4. Exemple du pavé à Coronmeuse

D'après l'inventaire réalisé sur le site de Coronmeuse, un des matériaux dont le potentiel de réemploi semble relativement élevé est le pavé. Sur ce site, on trouve des pavés de différentes natures (fig.21) : en pierre naturelle, a priori des pavés en porphyre, et des pavés en béton. Leurs dimensions varient mais des critères communs déterminent leur fort potentiel de réemploi.



Fig.21 - Echantillon de photos des pavés de différentes natures à Coronmeuse
- Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018

En effet, les pavés peuvent se démonter facilement, être stockés à l'extérieur, leur manutention se fait aisément, une préparation au réemploi (sciage par exemple) peut s'avérer rentable économiquement sur d'importantes quantités. Les pavés en pierre naturelle conservent leur propriétés mécaniques sur une échelle de temps bien plus longue que la durée de vie d'un

aménagement. « La pérennité du pavé en pierre naturelle est de 150 à 200 ans contre 40 à 75 ans pour le béton » (IBGE, 2011). Leur robustesse est toutefois plus importante que les pavés en béton, ce qui n'empêche pas ces derniers d'avoir un fort potentiel de réemploi si une attention plus particulière leur est portée lors des phases de démontage et de manutention.

De plus, le pavé belge « fait partie du patrimoine culturel de la Belgique. Au 19e siècle, il est un des fleurons de l'industrie et de l'économie de la Wallonie : les seules carrières de Quenast emploient 3 000 ouvriers et produisent 300 000 tonnes annuelles de pavés de porphyre qui sont exportés dans le monde entier » (ARAU, 2014). Le matériau porte alors une valeur culturelle et patrimoniale, renforçant son potentiel de réemploi.

L'inventaire a fait apparaître la quantité de pavés présents sur le site de Coronmeuse. En noir sur le plan ci-contre (fig.22), sont représentés les pavés en pierre naturelle tandis qu'en orange ce sont les pavés en béton. Après avoir effectué les métrés, le constat suivant est porté : on trouve 15 600 m² de pavés en pierre naturelle et 14 800 m² de pavés en béton. Ceci représente plus de 12% de la surface du site (25 ha).



Fig.22 - Plan masse de la localisation des pavés en pierre naturelle (noir) et en béton (orange) sur le site de Coronmeuse à Liège - Source : (Sorre, 2018)

Aussi, on peut rajouter à cela environ 1 700 m² de pavés constituant le fil d'eau des rues du site (fig.23), élevant alors de 0.7% la surface pavée du site. Enfin, il semblerait qu'une importante surface de bitume du quai de Wallonie couvre des pavés (fig.24) qu'il serait possible de réemployer après un traitement spécialisé. Il apparaît donc que la quantité de pavés in situ est suffisamment conséquente pour que le réemploi soit économiquement viable.



Fig.23 - Photos des fils d'eau en pavés de différentes natures à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018



Fig.24 - Photos des pavés recouverts d'asphalte à Coronmeuse - Source : Tanguy Sorre, 14 Mai 2018

Les pavés peuvent être retirés à l'aide d'une pelle mécanique. Ils sont ensuite transportés sur la plate-forme de traitement qui peut être installée directement sur site, de la même manière que l'atelier à Pantin (93) monté en 2010 pour la fabrication de la phase 2 du tramway des Maréchaux (capacité de traitement de 2 000 m² de pavés par mois) [12]. Le Grand Palais à Coronmeuse offrirait un lieu propice à l'installation de cette plate-forme. Dans un premier temps, ces pavés vont être décrottés à l'aide de tambours mécanisés qui se présentent comme des grandes cages cylindriques activées par un moteur et montées sur le bras articulé d'une chargeuse hydraulique. Ensuite, on va procéder au tri des pavés selon les modules ou le type de matériau. Un premier tri étant fait, ces pavés peuvent être utilisés en tant que tels ou encore subir une transformation. Par transformation on entend principalement le sciage des pavés. Certains peuvent aussi subir un fendage qui consiste à réduire les dimensions du pavé tout en gardant un aspect brut. Le bouchardage peut également donner cet aspect plus naturel. Enfin, un procédé comme le flammage permet de rendre la surface moins glissante [13]. Les pavés peuvent alors être réemployés pour le traitement de surface des futures voiries, places et trottoirs de l'écoquartier de Coronmeuse.

Si le réemploi, initiateur d'une économie circulaire, se dessine comme une réponse au consumérisme et comme une source de durabilité, le réemploi in situ semble être envisageable dès lors que la maîtrise d'ouvrage souhaite développer ce processus comme un axe fort du projet. C'est bel et bien le cas du projet d'écoquartier de Coronmeuse qui se veut innovant à l'échelle de la ville de Liège concernant la gestion durable des matériaux de construction. Cependant, à travers les recherches bibliographiques sur le réemploi, il semble que sa mise en place à plus grande échelle fasse face à plusieurs freins que nous allons soulever dans la dernière partie de ce mémoire.

4. ENTRE LIMITES ET OPPORTUNITES, DESSEIN D'UNE ECONOMIE CIRCULAIRE DU REEMPLOI

4.1. Un regard à changer

Un des premiers freins à l'essor du réemploi est sa perception auprès du grand public et des acteurs de l'aménagement, notamment les villes postées en tant que maîtrise d'ouvrage. La simple évocation du réemploi et de produits ou constructions de seconde main renvoie encore une image dévalorisée auprès du grand public. Le matériau issu du réemploi conserve une image peu vendeuse de produit d'occasion, qui a déjà servi et qui n'est donc plus de même facture et qualité. En effet, cette idée d'utiliser de l'occasion à la place du neuf n'est pas en adéquation avec la société de consommation et ainsi avec les idéaux liés au progrès qu'on retrouve dans l'innovation : du neuf donc du nouveau (Chiron, 2017). Alors marqué d'une connotation négative, le réemploi est donc associé à une attente de moindre coût et à une pratique comparable à du bricolage (Paduart et al., 2015).

De plus, le regard défiant qui est parfois porté sur le réemploi peut provenir des termes déchet et réemploi tels que définis dans la législation. Pour rappel, le réemploi est « toute opération par laquelle des substances, matières ou produits qui ne sont pas des déchets sont utilisés de nouveau pour un usage identique à celui pour lequel ils avaient été conçus » et le déchet est « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». L'addition de ces deux définitions produit un effet pervers car toute matière sortant d'un chantier de démolition peut donc être appelée un « déchet » d'un point de vue législatif, et ne peut donc de fait, faire l'objet de réemploi selon les définitions précédemment énoncées. La législation actuelle ne donne donc pas un cadre dans lequel le réemploi serait précisément défini et encadré (Scheffer, 2017), ce qui ne met pas en confiance les acteurs de l'aménagement et en particulier les assureurs. En effet, cette perception méfiante peut être liée à la problématique de la garantie décennale, les entreprises craignant de ne pas être couvertes si elles utilisent des produits de réemploi. En effet, le réemploi risque d'être considéré en réalité comme une technique non courante (i.e. non traditionnelle) et donc il appartiendra à l'entreprise de vérifier auprès de son assureur si une garantie peut lui être délivrée, en lui attestant que la mise en œuvre dans le contexte d'un nouvel usage est maîtrisée (Coppens et al., 2016a).

Néanmoins, face à la double crise économique et environnementale, l'idée de consommer autrement que du neuf passe de plus en plus d'une considération marginale voire artistique à une pratique alternative, et l'image du réemploi change progressivement. C'est notamment à travers la communication que l'adhésion, la diffusion et la pratique du réemploi à plus grande échelle est envisageable. Des projets exemplaires de réemploi à l'échelle locale, soutenus par les institutions, offrent une valorisation à l'échelle globale de l'image du réemploi en mettant en avant la pratique de manière officielle. Cette démocratisation du réemploi passe donc par une sensibilisation à la vie des matériaux, leur parcours, leurs transformations et par un accompagnement que suggère l'ADEME en apportant des conseils auprès des équipes de conception, des maîtrises d'ouvrages et des entreprises de réalisation et déconstruction (Chiron, 2017).

4.2. Un manque d'informations à combler

4.2.1. L'importance de l'information

L'ignorance provoque le doute, c'est ainsi que la défiance évoquée précédemment vis-à-vis du réemploi est aussi liée au manque d'informations concernant l'aménagement et les matériaux qui seront sujets au réemploi.

Dans une situation idéale, les concepteurs d'origine ont dressé des plans précis de leurs projets. Ils ont également rassemblé toute la documentation technique relative à leurs aménagements. Les gestionnaires ou propriétaires ont ensuite soigneusement conservé cette information et l'ont éventuellement mise à jour selon les changements apportés au cours de l'usage du site. Dans le cas d'aménagements mettant en œuvre des matériaux neufs, les concepteurs et entrepreneurs disposent d'une abondante documentation technique qui détaille les performances respectives des matériaux (Rotor et al., 2018).

Mais la plupart du temps, dans le cas d'un projet initiant le réemploi, les matériaux ne disposent pas (ou plus) de ces informations. Non que les performances de ces matériaux soient nécessairement moindres que les équivalents neufs ; c'est plutôt que, contrairement à ces derniers, les performances ne sont pas établies au préalable. Or, les concepteurs et entrepreneurs ont besoin de connaître certaines caractéristiques techniques des éléments de réemploi (Rotor et al., 2018). Des questions apparaissent dans ce cas : comment déterminer la qualité structurelle sur un matériau qui a été fabriqué il y a une dizaine d'années, comment peut-on le certifier, faut-il systématiquement l'envoyer dans un laboratoire pour tester ses caractéristiques techniques (Amsing, 2016).

Dans certains contextes, cette absence d'informations complique la démarche de réemploi et implique un travail de recherche et de documentation qui prend du temps. « Retrouver la documentation technique d'origine offre un aperçu des caractéristiques techniques des produits au moment de leur mise en œuvre sur le marché. Il reste alors aux experts à s'assurer que la phase d'usage n'ait pas altéré ses propriétés. Le cas échéant, des bureaux d'études spécialisés ou des laboratoires d'essais peuvent effectuer des tests de façon à établir les caractéristiques précises des produits ». Aussi, nous avons vu dans la partie 3.2.3 que les éléments du réemploi sont parfois chargés d'une valeur culturelle. Un travail d'observation des matériaux (usure, finition, composition) et d'interprétation donne des indications quant au type de matériau, à ses méthodes de production ou encore à ses usages. Une recherche documentaire complémentaire sur le site ou le matériau en lui même peut apporter des informations précieuses sur l'appréciation d'un élément et l'identification de sa valeur (Rotor et al., 2018).

Par conséquent, le réemploi de matériaux s'oriente vers une problématique de transmission efficace de l'information. L'amélioration de la traçabilité des matériaux de réemploi apparaît alors comme un axe pertinent pour lutter contre la défiance des acteurs de l'aménagement envers le réemploi (Coppens et al., 2016a).

4.2.2. Des perspectives pour la transmission de l'information

Dans l'optique d'un éventuel démontage futur d'un aménagement, l'approche de *Design for Deconstruction*, que nous avons abordée dans la partie 2.2.5, suggère de produire des documents et des bases de données lors de la conception qui serviront de source d'informations précieuse pour le démantèlement. Fournir des plans « *as built* » (tels que construits) et tenir à jour un carnet d'entretien qui reprend l'identification des points de désassemblage, des composants et des matériaux sont des éléments cruciaux dans le développement du réemploi. L'enjeu se situe donc dans la transmission de l'information pour être certain que les responsables du démantèlement futur aient accès à ces documents (Rotor et al., 2018).

Une forme analogique de transmission sous forme de dossier papier est envisageable mais depuis quelques années, une perspective numérique est en développement dans le secteur du bâtiment et commence à se développer dans l'aménagement : le BIM (*Building Information Modelling*). Les modèles BIM peuvent s'avérer un outil intéressant en matière de déconstruction car ils compilent toutes les données relatives à un aménagement et permettent en principe d'extraire facilement les informations pertinentes depuis le modèle numérique. En effet, chaque élément de construction est répertorié dans les bibliothèques de données et est associé à une collection d'informations : dimensions, propriétés mécaniques, estimation de l'impact environnemental, etc (Rotor et al., 2018).

Ainsi, en terme d'information, il peut s'avérer intéressant de travailler non pas à l'échelle de tout l'aménagement mais à l'échelle de ses composants. Cette idée est développée via le projet BAMB (*Buildings As Material Banks*) qui a démarré en septembre 2015 et se poursuit dans le cadre du programme Horizon 2020 financé par l'Union Européenne. L'idée prend la forme d'un outil permettant la mise en pratique de l'économie circulaire : le passeport de matériaux. Le concept est de munir chaque matériau d'un document physique ou virtuel qui rassemble toutes les informations utiles [14]. De la même façon qu'un certificat d'immatriculation pour un véhicule reprend à la fois les informations de base le concernant et son historique (propriétaires, accidentologie...) disponibles sur le SIV (Système d'Immatriculation des Véhicules), ce passeport pour les matériaux jouerait un rôle à peu près identique. « Il servirait d'abord à préciser toutes les informations techniques sur ce matériau (sa composition, son lieu de production, ses propriétés, etc) mais aussi à assurer son suivi régulier (ses phases d'entretien, ses mises à jour, ses changements d'affectation, ect) » (Rotor et al., 2018).

« Il existe déjà des passeports de matériel et d'autres moyens de collecter des informations sur les matériaux et les produits de construction, par exemple les bases de données matérielles, mais aucun n'a la capacité de supporter une utilisation circulaire de matériaux durables », c'est-à-dire d'effectuer son suivi et son évolution. C'est donc un des objectifs du projet BAMB, de créer une plate-forme permettant aux utilisateurs d'identifier le potentiel de valeur tout au long du cycle de construction, de la planification à la construction, en passant par l'occupation, les réparations, les rénovations, et qualité des matériaux et modifications [15].

L'idée serait également de reprendre les informations les plus cruciales sur les composants de construction eux-mêmes, de la même manière qu'on retrouve le numéro de série sur le châssis d'un véhicule. De cette façon, il n'y a aucun risque que l'information disparaisse : si l'information se perd, c'est que le composant lui-même est perdu (Rotor et al., 2018).

4.3. Une offre de matériaux de réemploi à stabiliser

4.3.1. Des lots hétérogènes de matériaux

Un autre des freins au développement de la filière du réemploi est l'approvisionnement en matériaux. Non pas par manque de ressources disponibles, mais par l'hétérogénéité des lots en terme de quantité, de qualité et de disponibilité.

Dans le fonctionnement classique du projet d'aménagement, il existe un décalage temporel entre la phase de conception et d'exécution s'étalant parfois sur plusieurs années selon l'ampleur des projets. Lorsqu'un projet recourt à des produits standards issus d'une production en série continue, il est aisé de garantir une stabilité des éléments de construction choisis. En revanche, dans le cadre de projet où le réemploi de matériaux ne s'effectue pas in situ, les éléments proviennent d'une source plus irrégulière et hétérogène : la déconstruction d'aménagements (Rotor et al., 2018). Selon la situation actuelle du secteur de la déconstruction et la quantité de matériaux nécessaire au nouvel aménagement, il s'avère qu'un élément n'aura pas les mêmes caractéristiques s'il est nécessaire d'avoir recours à deux lots distincts provenant de deux sites différents. On pourrait alors se retrouver avec des matériaux qui n'ont

pas vieilli de la même manière, selon des fonctions d'usage et des durées d'usage différentes. Les matériaux peuvent également présenter des variations dans leurs propriétés physiques et mécaniques ou bien esthétiques.

Aussi, il est souvent difficile de faire coïncider les plannings de déconstruction et de construction. Beaucoup de matériaux de réemploi sont disponibles durant une fenêtre d'opportunité relativement courte, ce qui ne convient pas toujours à des projets qui s'étalent dans le temps. Ce manque de visibilité des opportunités peut aussi provenir d'un manque de connexion entre le vendeur de matériaux de réemploi et le client nécessitant ces derniers (Rotor et al., 2018).

4.3.2. Des solutions à exploiter : stockage, plate-forme en ligne de matériaux

Une première piste pour remédier à ce décalage temporel influant sur la disponibilité est d'utiliser des espaces de stockage afin d'augmenter significativement la durée de la fenêtre d'opportunité. Les revendeurs qui disposent d'un stock conséquent peuvent donc garantir une plus grande stabilité de leur offre. Certains revendeurs spécialisés, dans la brique ou le pavé par exemple, proposent une stabilité quasiment équivalente à celle de la production neuve. En revanche, ces espaces de stockage, qui sont nécessaires pour accueillir toutes les opérations de manutention et de remise en état, peuvent représenter des volumes importants. Dans l'idéal, ces entrepôts ont tout intérêt à être bien intégrés dans la ville du fait du caractère fortement urbain des gisements pour le réemploi, et ainsi faciliter et raccourcir les déplacements entre les sites de déconstruction, les dépôts et les chantiers de mise en œuvre. En pratique, cette implantation centrale est souvent rendue difficile à cause du prix du foncier en ville, et sera plutôt située en périphérie. Par conséquent, la gestion d'un stock occasionne des frais supplémentaires qui vont forcément se répercuter sur le prix de vente (Rotor et al., 2018).

Une deuxième piste envisageable a été développée par le collectif d'architectes « Rotor » en Belgique : un outil de partage d'informations sur la disponibilité des matériaux de réemploi. L'objectif est de pouvoir mettre en contact acheteurs et vendeurs, grâce à une plate-forme en ligne, nommée « Opalis », qui recense à la manière d'un annuaire des opérateurs professionnels ayant des matériaux de réemploi disponibles issus du démontage d'anciens aménagements ou bâtiments [16]. La plate-forme Opalis, est un outil facile d'utilisation qui fonctionne à la manière d'un moteur de recherche. Il suffit de sélectionner un matériau dans la liste de ceux disponibles, et le site vous propose automatiquement une sélection de revendeurs à travers toute la Belgique affichée sur la carte (fig.25) (Scheffer, 2017).

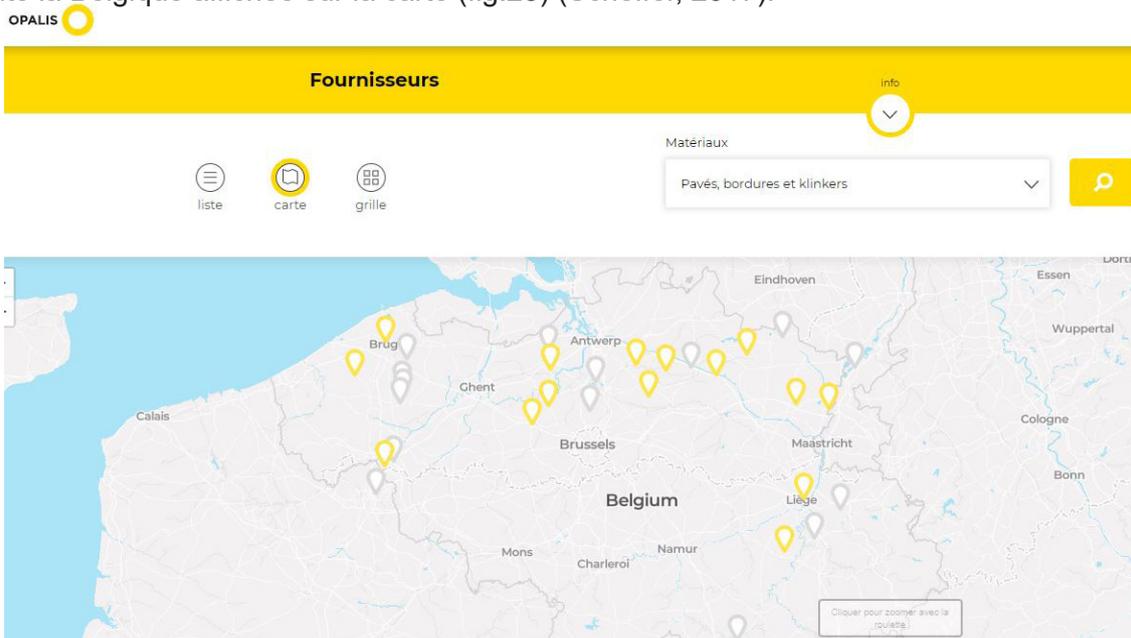


Fig.25 - Capture d'écran de la carte des fournisseurs de pavés, bordures et klinkers de réemploi en Belgique sur la plateforme opalis.be - Source : (Sorre, 2018)

4.4. Des outils pour l'aménagement à adapter en vue de favoriser le réemploi

4.4.1. La mise en place d'un label réemploi

Comme nous l'avons vu dans la partie 2.1.4, les labels peuvent s'avérer utiles pour rassurer les acheteurs sur la qualité des matériaux de construction. Pour les matériaux issus du réemploi, il s'agirait dans un premier temps de définir le cahier des charges fixant les performances couvertes par ce label, la façon de les mesurer et le choix des auditeurs tiers chargés de cette vérification. Dans le cadre du réemploi ex situ, ce label pourrait certifier :

- l'origine du matériau : garantir qu'il est bien issu d'un aménagement voué à la déconstruction et non pas d'une opération sauvage ou d'une démolition forcée
- la distance parcourue entre les sites de démontage, de reconditionnement, de revente et de remise en œuvre : éviter que les effets ou les coûts environnementaux du transport n'excèdent les bénéfices liés au réemploi
- la reconnaissance des bonnes conditions de travail pour tous les acteurs de la chaîne
- la garantie d'un tri et d'une inspection visant à établir les performances des produits (Rotor et al., 2018).

Un exemple existe concernant le bois avec le label *FSC recycled*. L'apposition de ce label garantit aux consommateurs que le bois est effectivement issu de source post-consommation plutôt que de ressources naturelles primaires. Le même genre de label pour d'autres types de matériaux tels que les pavés ou les dalles pourrait logiquement voir le jour si des revendeurs de matériaux de réemploi sollicitaient l'intervention d'un organisme tiers. Un appui des autorités publiques pourraient contribuer à la reconnaissance officielle de ce label (Rotor et al., 2018).

4.4.2. L'adaptation des marchés publics

Une certaine flexibilité doit être initiée dans la commande publique pour pouvoir laisser la place aux initiatives de réemploi et de réutilisation. En effet, le Code des Marchés Publics français précise dans l'article 5 que « la nature et l'étendue des besoins à satisfaire sont déterminées avec précision [...] en prenant en compte des objectifs de développement durable. Le ou les marchés ou accords-cadres conclus par le pouvoir adjudicateur ont pour objet exclusif de répondre à ces besoins ». Or, dans les commandes de marchés publics, les critères portent souvent sur les moyens de mise en œuvre et non pas sur les performances finales. L'actuel verrouillage sur les « moyens » dans les commandes ne permet que difficilement l'intégration des pratiques de réemploi et réutilisation dans les marchés via des propositions de variantes (Coppens et al., 2016a).

Pour permettre un « déverrouillage » de la commande publique, le maître d'ouvrage doit définir son programme et ses objectifs environnementaux, et il peut notamment fixer des ambitions fortes en matière de réemploi et de réutilisation. Dans ce cas, les pouvoirs publics montrent une forme de soutien consistant à faire du réemploi un critère de sélection pour l'attribution d'un marché à une maîtrise d'œuvre. Le programme et les ambitions du maître d'ouvrage doivent ensuite être traduits par le maître d'œuvre dans les documents de consultation des entreprises (DCE) pour permettre enfin aux entreprises de proposer des solutions (éventuellement par des variantes) intégrant le réemploi. A court et moyen terme, le développement du réemploi dans le secteur de l'aménagement va donc reposer principalement sur le renforcement de la prescription : il faut sensibiliser les acteurs (notamment les maîtres d'ouvrage) grâce à une diffusion de retours d'expérience et les former aux bonnes pratiques de réemploi pour amplifier la pénétration de ces pratiques. Pour les collectivités de taille limitée, l'enjeu des compétences nécessaires pour pouvoir évaluer les solutions proposées par les entreprises pourrait nécessiter un accompagnement (Coppens et al., 2016b).

En ce qui concerne la maîtrise d'œuvre, des outils comme la plate-forme Opalis propose des fiches de spécifications techniques pour certains matériaux (briques, pavés, bordures en pierre, panneaux de bois). Il s'agit en fait d'extrait de cahier des charges permettant à la maîtrise d'œuvre de faire facilement coïncider les prescriptions sur les matériaux désirés avec les caractéristiques techniques des matériaux de réemploi présents sur le marché, et ainsi de faciliter l'usage de matériaux de réemploi au sein de leurs projets (Scheffer, 2017).

4.5. Un système à réviser?

4.5.1. Quid du rôle de chacun des acteurs dans le processus d'un aménagement

A échelle restreinte, au stade de l'expérimentation et de l'œuvre d'art, le réemploi semble faire ses preuves qui participent largement à sa démocratisation. Si l'on veut désormais dépasser cette échelle et envisager le réemploi de manière stable et intégrée au processus de l'aménagement, cela nécessite une prise de recul sur la conduite de projet afin de pouvoir entreprendre des reconfigurations dans les rapports entre les différents acteurs du projet.

A l'heure actuelle, le secteur de la construction et de l'aménagement sont étroitement liés au fait que leur objet de travail est identique : quand l'un s'intéresse au bâtiment, l'autre porte intérêt à l'environnement avoisinant mais dans le but de former un tout cohérent, par exemple un nouveau quartier regroupant habitations, services et espaces publics. Pourtant, ces secteurs, légalement séparés, sont tous deux caractérisés par une division du travail, c'est-à-dire des étapes du processus de projet, qui repose sur la séparation entre le domaine de la commande, de la conception et de la réalisation. Cependant, le réemploi de manière générale entraîne une certaine proximité entre les concepteurs, les entreprises et les fournisseurs, acteurs de l'économie matérielle (Rotor et al., 2018), car « il implique une nouvelle façon de concevoir l'aménagement : le matériau devient le centre du projet » (Amsing, 2016). Le champ d'action de chaque acteur peut alors se voir s'élargir, se recouper, ou se différencier au cours du processus de projet.

La maîtrise d'ouvrage, étant la source de la commande et l'auteur du programme, joue un rôle d'initiateur dans la volonté de recourir au réemploi. Intégrer ces nouvelles exigences obligera à revoir certaines procédures, notamment sur le plan contractuel, et cela passera par de nouvelles prescriptions dans le cahier des charges ou encore de nouveaux outils de contrôle. Dans certains cas, le maître d'ouvrage pourra acquérir très en amont du projet des éléments disponibles, influençant les rôles du concepteur paysagiste et de l'entrepreneur. Le rôle de l'entrepreneur ne consiste alors plus à répondre à des lots de pose et fourniture des matériaux – puisqu'ils sont déjà là – mais bien à les mettre en œuvre (Rotor et al., 2018).

Le concepteur paysagiste, quant à lui, n'est plus prescripteur de matériaux qu'il a souvent considérés comme abstraits jusqu'à un stade avancé de la conception : désormais, avant même de commencer sa réflexion ou dans un stade avancé de celle-ci, il doit également s'intéresser et connaître les « moyens du bord » à disposition, autrement dit les matériaux à partir desquels il pourra élaborer son projet. Cette démarche rétrospective engendre de nombreux changements sur la pratique, notamment avec l'inventaire qui joue un rôle clé dans cette approche du projet (Amsing, 2016). p.41.

Les matériaux, dans un contexte de réemploi, deviennent donc l'élément réunissant tous les acteurs : la maîtrise d'ouvrage en possède sur le site, le démolisseur (ou plutôt déconstructeur) fait en sorte de les rendre réutilisables, l'entreprise met à profit ses savoir-faire pour les remettre en œuvre et le fournisseur peut se voir compléter l'offre de matériaux, travaillant alors en complémentarité du réemploi. Possédant une vue d'ensemble des enjeux du projet et une bonne connaissance des éléments de construction et d'aménagement, le concepteur paysagiste en tant que maître d'œuvre tient alors un rôle crucial pour fédérer les acteurs du projet et développer un rapport positif et constructif vis-à-vis de la matière. Il est alors

l'interlocuteur privilégié jouant un rôle d'interface, de conseiller et de coordinateur à l'égard du projet. Bien entendu, sa mission de conception (du projet en lui-même) reste centrale mais la relation de réciprocité entre dessin et matière est plus forte. « En effet, tout au long de la phase de conception, il est important de repérer plus précisément les matériaux requis. Des besoins spécifiques vont naître qui vont nécessiter une recherche spéciale, et à l'inverse des gisements intéressants pourront guider les dimensionnements du dessin » (Chiron, 2017).

4.5.2. Du rôle des acteurs à leur responsabilité : vers une économie de la fonctionnalité

Aujourd'hui, la production des éléments de construction neufs est prise en charge par un grand nombre de producteurs distincts. Ceux-ci développent et produisent des éléments qu'ils livrent à des entreprises de réalisation – éventuellement par l'intermédiaire d'un importateur ou d'un grossiste. Les entreprises de réalisation assemblent ces éléments au sein d'un aménagement selon les prescriptions établies par le concepteur en fonction des besoins et exigences de son commanditaire. Dans ce modèle, aucun des acteurs mentionnés ne porte la responsabilité du traitement de cet ensemble en fin de vie. Le produit fini, ici un aménagement d'espaces publics, appartient de plein droit à son propriétaire, dans ce cas la ville, et c'est en principe à elle qu'incombera la gestion de l'édifice en fin de vie. Dans un contexte aussi fractionné, il n'y a pas non plus de véritable incitation pour démarrer une réflexion visant à anticiper la fin de vie, le démontage et la mise en place du réemploi. La responsabilité des différents acteurs s'arrête généralement à la livraison d'un produit correspondant aux différentes exigences (Rotor et al., 2018).

C'est face à ce constat que l'intérêt pour le réemploi s'inscrit plus globalement dans un glissement vers une économie de la fonctionnalité. En effet, ce modèle privilégie l'usage à la possession du produit. En vendant une performance plutôt qu'un produit, l'économie de la fonctionnalité découple la croissance économique de la consommation de ressources matérielle et énergétique [7]. Il s'agit de favoriser des activités économiques productrices de plus-value qui ne nécessitent pas de consommation de matière.

Dans ce scénario, le producteur et/ou fournisseur ne se contente plus de livrer des matériaux et d'engranger des bénéfices proportionnels aux quantités écoulées mais cela l'oblige à réfléchir plus globalement. En restant propriétaire d'un produit donné, le fournisseur reste aussi responsable de l'ensemble de son cycle de vie. L'économie de la fonctionnalité prône donc un modèle économique au sein duquel des principes de pérennité, d'adaptabilité ou de réutilisabilité ne sont plus vus comme des complications mais bien comme des incitations à réaliser des gains potentiels. Du point de vue de la gestion des ressources, cette formule incite à limiter l'obsolescence planifiée puisque le fournisseur a tout intérêt à étendre au maximum la durée de vie de ses produits (Rotor et al., 2018).

Dans l'aménagement des espaces publics, ce modèle serait tout à fait envisageable concernant le mobilier urbain (poubelles, bancs, signalétique), l'éclairage, les clôtures et les infrastructures extérieures telles que les aires de jeux, les terrains de sport ou encore des aménagements de type skate park. Ainsi, le fournisseur s'engage durant toute la durée de vie de ses produits à les entretenir, remplacer et en cas de renouvellement d'un aménagement, à les déplacer sur un autre site dont émane un besoin similaire.

CONCLUSION

La prise de conscience vis-à-vis de la consommation de ressources et la production de déchets n'est plus à prouver désormais dans le domaine du paysage et de l'aménagement urbain. Cependant, des progrès doivent encore être faits dans l'application quotidienne de la démarche d'un projet d'aménagement responsable et soutenable car les quantités de ressources consommées et de déchets produits représentent encore aujourd'hui des parts importantes.

Ainsi, plusieurs leviers d'action s'offrent au concepteur paysagiste. Tout d'abord, une action directe sur le choix des matériaux apparaît comme simple à mettre en œuvre sur le court terme. Tenir compte de l'énergie grise, du cycle de vie, ou encore de la provenance des matériaux sont des éléments qui doivent être intégrés au projet. Des labels, pour une lecture d'informations rapide et claire, peuvent alors guider et aider le concepteur paysagiste dans ses choix de matériaux. Ses choix de conception entrent aussi en jeu dans l'optimisation des ressources. Intégrer les caractéristiques physiques du site, gérer les eaux pluviales de façon alternative ou encore concevoir l'espace de telle sorte à favoriser des comportements aux impacts réduits sont des clés de réussite d'un projet durable. La réversibilité, flexibilité et résilience sont des caractéristiques qui doivent trouver leur sens et mise en application au sein des écoquartiers.

L'autre levier, dont il est question pour répondre à la problématique, est le réemploi. En effet, il se présente comme le contre-pied à la production de déchets massive. Sa mise en œuvre in situ passe par l'étape cruciale de l'inventaire, initiant un changement de regard du déchet à la ressource, et par conséquent favorisant le développement d'une circularité. Lors de la réalisation de l'inventaire, il est apparu que cette étape est chronophage et demande une certaine rigueur, mais elle est le point de départ d'une conception circulaire et donc durable. Le réemploi apporte une plus-value culturelle qui s'ajoute aux aspects environnementaux, et sa mise en place à une échelle plus globale envisage le développement d'emplois locaux, à condition que le secteur du paysage et de la construction collaborent en vue d'objectifs communs. Ainsi, la valorisation et la promotion d'aménagements urbains durables, comme par exemple des écoquartiers qui font preuve de réussite sur les différents points étudiés ici, permettront le développement de cette filière du réemploi dans les années à venir.

Comme ce mémoire l'a fait voir, il existe une relation très étroite entre les professions de paysagiste, d'architecte, d'urbaniste et du secteur de la construction. Certes, ces professions sont distinctes entre elles mais la démarche de projet durable tend à aborder le processus dans sa globalité, en renforçant les interactions entre les différents acteurs de l'aménagement. Ainsi, des approches et notions développées dans le bâtiment en terme de cycle de vie des matériaux sont tout à fait transposables dans l'aménagement d'espaces publics. La majorité des travaux à ce jour concernant les matériaux est réalisée dans le cadre de la construction d'un bâtiment. C'est pourquoi ce mémoire s'est attaché à montrer que la réflexion peut être développée dans le domaine de l'aménagement, et que le concepteur paysagiste peut en être le porteur et l'ambassadeur.

En effet, la formation dont nous avons bénéficié à l'école pendant ces cinq années nous offre l'opportunité de pouvoir être acteur à chaque étape du projet : de l'assistance à maîtrise d'ouvrage à l'exécution des travaux en passant par la maîtrise d'œuvre. Une vision globale et une sensibilisation à la problématique des matériaux nous permet par conséquent de pouvoir agir à tous les niveaux du projet pour tendre vers une optimisation de la durabilité et de l'impact d'un projet.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME, 2017. *Economie circulaire - Un atout pour relever le défi de l'aménagement durable des territoires*. [en ligne]. Angers. ADEME. ISBN 979-10-297-0889-9. 116 p. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/livre-blanc-economie-circulaire-defi-amenagement-durable-territoires-010264-v1.pdf>. [Consulté le 25 juillet 2018].

ADEME, FAURE, Sébastien et CGPME, 2016. *Guide pratique de l'éco-conception - Vers de nouveaux modèles économiques* [en ligne]. mars 2016. S.l. : s.n. 74 p. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/guide-pratique-leco-conception>. [Consulté le 27 juillet 2018].

AFNOR CERTIFICATION, 2012. *Règles générales de la marque NF Environnement*. [en ligne]. S.l. : s.n. 10 p. Disponible à l'adresse : https://www.emballageecologique.com/documents/regles_marque_NF_Environnement.pdf. [Consulté le 23 août 2018].

AMSING, Tatiana. *Le réemploi : mutation du cerveau de l'architecte ?* [en ligne]. Lille : ENSAP. 2016. 140 p. Disponible à l'adresse : https://lissuu.com/tatianaamsing/docs/me__moire_d_initiation_a__la_reche. [Consulté le 7 juin 2018]

ARAU, 2014. *La pierre naturelle en voirie : un patrimoine culturel bruxellois*. In : La pierre naturelle en voirie : un patrimoine culturel bruxellois [en ligne]. Bruxelles : s.n. 24 janvier 2014. 1 p. Disponible à l'adresse : <http://www.arau.org/au/5f1a94ea3538f0cef71f85e0159023a6f1eb4934.pdf>. [Consulté le 7 juin 2018]

BENOIT, Julie et BELLASTOCK, 2018. *REPAR #2, Le réemploi, passerelle entre architecture et industrie*. [en ligne]. S.l. ADEME, BELLASTOCK et CSTB. 76 p. Disponible à l'adresse : <http://www.ademe.fr/sites/default/files/assets/documents/repar2-201803-synthese.pdf>. [Consulté le 7 juin 2018].

BERNEMAN, Corinne, LANOIE, Paul, PLOUFFE, Sylvain et VERNIER, Marie-France, 2008. *L'éco-conception : Quels retours économiques pour l'entreprise ?* [en ligne]. S.l. Collaboration entre Chambre de commerce industrie et services de Saint Etienne Montbrison; Institut de développement de produit; ESC Saint Etienne; Cirano; Université de Montréal et HEC Montréal. 47 p. Disponible à l'adresse : http://www.bourgogne.ademe.fr/sites/default/files/files/Domains%20d'intervention/Prod%20et%20conso%20durables/Eco-conception/Eco_conc_retours_econo08.pdf. [Consulté le 27 juillet 2018].

BOUDAUD, Benoît, 2009. *Quartier durable ou éco-quartier?* In : Cybergeographie : European Journal of Geography [En ligne]. 24 septembre 2009. 8 p. [Consulté le 2 juin 2018].

BUUR, 2017. *Rapport écrit Eco-quartier Coronmeuse (Liège)*. Leuven. BUUR. (document interne). 151 p.

CHIRON, Félix. *Le réemploi dans la construction*. [en ligne]. Mémoire de master. Nantes : ENSA. 2017. 94 p. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01529722/document>. [Consulté le 7 juin 2018].

CIFFUL, GUILLEMEAU, Jean-Marc, WAGELMANS, Paul et WAGELMANS, Jean, 2013. *Guide pratique du réemploi, réutilisation des matériaux de construction*. [en ligne]. 2013. S.l. . CIFFUL (Centre Interdisciplinaire de Formation de Formateurs de l'Université de Liège). 48 p. Disponible à l'adresse : http://www.confederationconstruction.be/Portals/28/cellule%20environnement/guidesdocumentsutiels/Guide%20r%C3%A9emploi_r%C3%A9utilisation%20des%20mat%C3%A9riaux%20de%20construction.pdf. [Consulté le 7 juin 2018].

CIMBÉTON, 2008. *La Chaussée Urbaine Démontable en béton : une première mondiale à Saint-Aubin-lès-Elbeuf !* In : Routes. juin 2008. n° 104, p. 7-11.

COPPENS, Mélanie, JAYR, Emmanuel, BURRE-ESPAGNOU, Marion et NEVEUX, Guillaume, 2016a. *Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction*. [en ligne]. S.l. RDC ENVIRONNEMENT, éco BTP, I CARE ENVIRONNEMENT pour le compte de l'ADEME. 149 p. Disponible à l'adresse : <http://www.ademe.fr/identification-freins-leviers-reemploi-produits-materiaux-construction>. [Consulté le 3 mai 2018].

COPPENS, Mélanie, JAYR, Emmanuel, BURRE-ESPAGNOU, Marion et NEVEUX, Guillaume, 2016b. *Synthèse - Identification des freins et des leviers au réemploi de produits et matériaux de construction*. [en ligne]. S.I. RDC ENVIRONNEMENT, éco BTP, I CARE ENVIRONNEMENT pour le compte de l'ADEME. 13 p. Disponible à l'adresse : <http://www.ademe.fr/identification-freins-leviers-reemploi-produits-materiaux-construction>. [Consulté le 3 mai 2018].

DE GUILLEBON, Marie, 2016. *Résumé - Réemploi: une dialectique entre patrimoine(s) et territoire*. [en ligne]. In : Atelier doctoral / Appel à contribution : "Patrimoine, villes, territoires : approches interdisciplinaires". Groupe Transversal "Usages de l'Histoire et Devenirs Urbains" du Labex Futurs Urbains. [en ligne]. Paris : s.n. mars 2016. 1 p. Disponible à l'adresse : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01299152>. [Consulté le 10 août 2018].

DELMÉE, Hélène. *Un vade-mecum pour la conception à partir de matériaux de réemploi*. [en ligne]. Mémoire de master. Louvain-la-Neuve : Université catholique de Louvain - Faculté d'architecture, d'ingénierie et d'urbanisme. 2017. 111 p. Disponible à l'adresse : https://hera.foundationfuturegenerations.org/fr/portal/publication/un-vade-mecum-pour-la-conception-partir-de-materiaux-de-reemploi#annuaire_PDF. [Consulté le 10 août 2018].

DESHAIES, Michel et MÉRENNE-SCHOUMAKER, Bernadette, 2014. *Ressources naturelles, matières premières et géographie. L'exemple des ressources énergétiques et minières*. [en ligne]. 2014. S.I. : s.n. 10 p. Disponible à l'adresse : <https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=185&file=1>. [Consulté le 26 juillet 2018].

DRIEA ILE-DE-FRANCE, 2010. *Synthèse éco-matériaux*. [en ligne]. juin 2010. S.I. : s.n. 4 p. Disponible à l'adresse : http://www.dria.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/fiche_11_cle59f734.pdf. [Consulté le 2 août 2018].

EUROPEAN COMMISSION, 2017. *A label you can trust*. [en ligne]. 2017. S.I. : s.n. 2 p. Disponible à l'adresse : http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/documents/label_you_can_trust.pdf. [Consulté le 23 août 2018].

FERNANDEZ-FERNANDEZ, Edgar, MALWÉ, Claire et NEGRUTIU, Ioan, 2014. *Définition des ressources naturelles et implication pour la démarche juridique*. [en ligne]. In : Penser une démocratie alimentaire. 2014. Vol. 2 - Proposition Lascaux entre ressources naturelles et besoins fondamentaux, p. 71-77. <hal01084431> [Consulté le 25 juillet 2018].

HILAIRE, Philippe, 2016. *Du déchet à la ressource - Les matériaux inertes : une géomorphologie à l'oeuvre*. In : Les carnets du paysage. avril 2016. n° 29, p. 131-155.

HORTICULTURE & PAYSAGE, 2013. *Revêtements de voirie : analyser leur impact environnemental*. In : Horticulture & Paysage. février 2013. n° 142, p. 8-9.

HUANG, Dai Yue, LIU, Chao, DRAETTA, Laura et PUEL, Gilles, 2012. *La genèse de l'éco-conception en Chine dans le secteur des TIC, une exportation européenne*. In : Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [en ligne]. septembre 2012. Vol. 12, n° 2. Disponible à l'adresse : <https://journals.openedition.org/vertigo/12624>. DOI : 10.4000/vertigo.12624 . [Consulté le 27 juillet 2018].

IBGE, 2009a. *Guide pratique pour l'émergence de quartiers durables à Bruxelles Sustainable check-up et memento*. [en ligne]. 2009. S.I. : Bruxelles Environnement. 80 p. Disponible à l'adresse : http://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/GIDS_2010_QuartierDurable_Mem. [Consulté le 7 juin 2018].

IBGE, 2009b. *Les labels verts*. [en ligne]. novembre 2009. S.I. : s.n. 5 p. Disponible à l'adresse : http://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/IF_Eco-construction_ALG07_Part_Fr.PDF. [Consulté le 2 août 2018].

IBGE, 2011. *MAT03 - Guide pratique pour la conception durable des espaces publics des quartiers durables*. [en ligne]. 29 juin 2011. S.I. : Bruxelles Environnement. 9 p. Disponible à l'adresse : http://document.environnement.brussels/opac_css/electfile/IF_QDurables_MAT03_FR.PDF?langtype=2060. [Consulté le 3 juin 2018].

IBGE, P. Vanderstraeten, 2011. *Guide pratique pour la conception durable des espaces publics des quartiers durables*. [en ligne]. 29 juin 2011. S.I. : Bruxelles Environnement. 49 p. Disponible à l'adresse : http://www.pyblik.brussels/sites/default/files/presentations/141107_PVerstraeten_studio3.pdf. [Consulté le 7 juin 2018].

MERLIN, Pierre et CHOAY, Françoise, 2010a. *Déchets*. In : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. 3e. 880 p. S.l. : s.n. ISBN 978-2-13-058066-9.

MERLIN, Pierre et CHOAY, Françoise, 2010b. *Eco-quartier*. In : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement. 3e. 880 p. S.l. : s.n. ISBN 978-2-13-058066-9.

MONTÉRÉMAL, Marion, 2017. *Entreprises du BTP : 227,5 millions de tonnes de déchets en 2014*. [en ligne]. S.l. Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, en charge des relations internationales sur le climat. 4 p. Disponible à l'adresse : http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/Datalab_essentiel/2017/datalab-essentiel-96-btp-mars2017-b.pdf. [Consulté le 7 juin 2018].

PADUART, Anne, GLORIEUX, Jean-François, GROSJEAN, Florent, SCHAAR, Céline, SCHERRIER, Nicolas et BOUTRIAU, Louis, 2015. *Stratégie réemploi des matériaux de construction*. [en ligne]. 6 mai 2015. S.l. : s.n. 12 p. Disponible à l'adresse : http://www.confederationconstruction.be/Portals/19/Plateforme%20R%C3%A9emploi/20150506_strategie_reemploi_MCD_version_print.pdf. [Consulté le 7 juin 2018].

PLANTE & CITÉ, LARRAMENDY, Sandrine, HUET, Sandrine, MICAND, Aurore et PROVENDIER, Damien, 2014. *Conception écologique d'un espace public paysager – Guide méthodologique de conduite de projet* [en ligne]. Angers. octobre 2014. S.l. : s.n. 94 p. Disponible à l'adresse : https://www.plante-et-cite.fr/data/fichiers_ressources/pdf_fiches/synthese/2014_10_15_guide_conception_ecologique_BR.pdf. [Consulté le 7 juin 2018].

RDS FRANCE, 2018. *Fiche technique concasseur-cribleur Rebel à mâchoires et/ou percussion*. [en ligne]. avril 2018. S.l. : s.n. 2 p. Disponible à l'adresse : https://www.rdsfrance.com/wp-content/uploads/2018/06/RREQUIPMENT_concasseur_crible_REBEL_machoire_percussion.pdf. [Consulté le 23 août 2018].

ROTOR, GHYOOT, Michaël, DEVLIEGER, Lionel, BILLIET, Lionel et WARNIER, André, 2018. *Déconstruction et réemploi, comment faire circuler les éléments de construction*. S.l. : Presses polytechniques et universitaire romandes. ISBN 978-2-88915-239-1.

SCHEFFER, Frédéric. *Réemploi - Matière à penser*. [en ligne]. Nantes : ENSA. 2017. 62 p. Disponible à l'adresse : <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01712733/document>. [Consulté le 10 août 2018].

SERVOISE, Guillaume. *Déchets, réemploi, recyclage : la déconstruction, nouvelle responsabilité de l'architecte ?* [en ligne]. Soutenance de la mention recherche. Lille : ENSAPL. 2017. 128 p. Disponible à l'adresse : https://issuu.com/guillaumeservoise/docs/memoire_pour_mention. [Consulté le 27 juin 2018].

TELLER, Jacques, MARIQUE, Anne-Françoise, LOISEAU, Véronique, GODARD, Florence et DELBAR, Caroline, 2014. *Référentiel Quartiers Durables*. [en ligne]. février 2014. S.l. : SPW Editions / Wallonie. 32 p. Disponible à l'adresse : http://lamspw.wallonie.be/dgo4/tinymce/apps/amenagement/views/documents/amenagement/SPW_Ref_Quartiers_Durables.pdf. [Consulté le 8 août 2018].

THEVENON, Emmanuel, 2017. *De la terre des champs à la terre des villes*. In : Ingénierie territoriale. janvier 2017. n° 21, p. 17-21.

VIDRIL, Valérie, 2016. *Le paysage en mode réversible*. In : Le lien horticole. avril 2016. n° 968, 4 p.

VILLE DE LIÈGE, 2013. *Note stratégique de développement du site de Coronmeuse*. janvier 2013. S.l. : s.n. 24 p.

SITOGRAPHIE

- [1] LES CAHIERS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, 2018. *Que sont les matières premières, pourquoi et comment les utilisons-nous?* In : Les cahiers du développement durable. [en ligne]. 2018. Disponible à l'adresse : <http://les.cahiers-developpement-durable.be/vivre/les-matieres-premieres-definitions/>. [Consulté le 26 juillet 2018].
- [2] CELLULE ENVIRONNEMENT DE L'UNION WALLONNE DES ENTREPRISES, [sans date]. *Classification simplifiée des déchets* [en ligne]. S.l. : s.n. Disponible à l'adresse : <http://www.environnement-entreprise.be/d%C3%A9chets/obligations-des-entreprises>. [Consulté le 5 juin 2018].
- [3] PÔLE ÉCO-CONCEPTION, 2016b. *Un peu d'histoire - pôle éco-conception*. In : Pôle éco-conception. [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.eco-conception.fr/static/un-peu-dhistoire.html>. [Consulté le 27 juillet 2018].
- [4] ADEME, 2014. *À quoi sert une ACV ?* In : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. [en ligne]. 14 août 2014. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/analyse-cycle-vie/a-quoi-sert-acv>. [Consulté le 27 juillet 2018].
- [5] ADEME, 2018. *Qu'est-ce que l'ACV ?* In : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie. [en ligne]. 18 juin 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.ademe.fr/expertises/consommer-autrement/passer-a-laction/dossier/analyse-cycle-vie/quest-lacv>. [Consulté le 27 juillet 2018].
- [6] MEUNIER, Emile, 2018. *Une brève histoire de l'éco-conception*. In : Meunier-avocats. [en ligne]. 27 avril 2018. Disponible à l'adresse : <https://www.meunier-avocats.fr/blog/2018/4/27/une-breve-histoire-de-leco-conception>. [Consulté le 27 juillet 2018].
- [7] PÔLE ÉCO-CONCEPTION, 2016a. *Éco-conception et économie circulaire*. In : Pôle éco-conception [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.eco-conception.fr/static/economie-circulaire.html>.
- [8] MINISTÈRE DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES, 2016. *Les écoquartiers*. In : Ministère de la cohésion des territoires. 9 décembre 2016. Disponible à l'adresse : <http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/les-ecoquartiers> [Consulté le 30 juillet 2018].
- [9] ADEME, [sans date]. *Gestion durable des ressources naturelles - Agir sur la qualité des espaces verts*. In : Guide de l'Eco-Responsabilité. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <http://www.ecoresponsabilite.ademe.fr/n/les-enjeux-lies-aux-espaces-verts/n:211>. [Consulté le 2 août 2018].
- [10] IBGE, 2013. *Dossier - Favoriser la mobilité active*. In : Guide Bâtiment Durable Brussels. [en ligne]. 1 janvier 2013. Disponible à l'adresse : <https://www.guidebatimentdurable.brussels/fr/favoriser-la-mobilite-active.html?IDC=27&IDD=4473>. [Consulté le 6 août 2018].
- [11] ELTIS, 2017. *Circulation plan in Leuven leads to more bikes and fewer cars (Belgium)*. In : Eltis, the urban mobility observatory. [en ligne]. 4 septembre 2017. Disponible à l'adresse : <http://www.eltis.org/discover/news/circulation-plan-leuven-leads-more-bikes-and-fewer-cars-belgium>. [Consulté le 7 août 2018].
- [12] LAHAYE GRANIT, 2012. *LAHAYE Granit - recyclage*. [en ligne]. 2012. Disponible à l'adresse : <https://www.sarl-lahaye.com/recyclage/>. [Consulté le 17 août 2018].
- [13] MAIRIE DE PARIS, 2015. *Le saviez-vous ? Vous marchez sur des pavés recyclés* [en ligne]. 11 mars 2015. Durée : 2:46 min. Disponible à l'adresse : <https://www.youtube.com/watch?v=FQQETVFrthM>. [Consulté le 17 août 2018].
- [14] BAMB, 2016a. *About BAMB*. In : BAMB Buildings As Material Banks. [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.bamb2020.eu/about-bamb/>. [Consulté le 21 août 2018].
- [15] BAMB, 2016b. *Materials passports*. In : BAMB Buildings As Material Banks. [en ligne]. 2016. Disponible à l'adresse : <https://www.bamb2020.eu/topics/materials-passports/>. [Consulté le 21 août 2018].
- [16] ROTOR, [sans date]. *Opalis - A propos*. In : Opalis. [en ligne]. Disponible à l'adresse : <https://opalis.be/fr/%C3%A0-propos>. [Consulté le 21 août 2018].

Fiche de déclaration environnementale et sanitaire Environmental and health product declaration

Revêtement en asphalte pour chaussée



Avertissement

Les informations contenues dans cette déclaration sont fournies sous la responsabilité de l'Office des Asphaltes (producteur de la FDES) selon la NF EN 15804+A1 et le complément national XP P 01-064/CN. Toute exploitation, totale ou partielle, des informations fournies dans ce document doit au minimum être accompagnée de la référence complète à la FDES d'origine ainsi qu'à son producteur qui pourra remettre un exemplaire complet.

La norme EN 15804+A1 du CEN sert de Règles de définition des catégories de produits (RCP).

NOTE : La traduction littérale en français de EPD (Environmental Product Declaration) est DEP (Déclaration Environnementale de Produit). Toutefois, en France, on utilise couramment le terme de FDES (Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire qui regroupe à la fois la Déclaration Environnementale et des Informations Sanitaires pour le produit faisant l'objet de cette FDES. La FDES est donc bien une « DEP » complétée par des informations sanitaires.

Guide de lecture

L'affichage des données d'inventaire respecte les exigences de la norme NF EN 15804+A1.

Format d'affichage des résultats :

1,78E-06 doit être lu : $1,78 \times 10^{-6}$ (écriture scientifique)

Unités utilisées :

- kilogramme « kg »
- gramme « g »
- litre « L »
- kilowattheure « kWh »
- mégajoule « MJ »
- mètre cube « m³ »

Abréviations :

- ACV : Analyse du Cycle de Vie
- DVR : Durée de Vie de Référence
- UF : Unité Fonctionnelle
- PCI : Pouvoir Calorifique Inférieur

Précautions d'utilisation de la FDES pour la comparaison des produits

Les FDES de produits de construction peuvent ne pas être comparables si elles ne sont pas conformes à la norme NF EN 15804+A1.

La norme NF EN 15804+A1 définie au §.5.3 Comparabilité des DEP pour les produits de construction, les conditions dans lesquelles les produits de construction peuvent être comparés, sur la base des informations fournies par la FDES :

« Une comparaison de la performance environnementale des produits de construction en utilisant les informations des DEP doit être basée sur l'usage des produits et leurs impacts sur le bâtiment, et doit prendre en compte la totalité du cycle de vie (tous les modules d'informations). »

Sommaire

- 1. INFORMATIONS GÉNÉRALES _____ 4
- 2. DESCRIPTION DE L'UNITÉ FONCTIONNELLE ET DU PRODUIT _____ 6
- 3. ETAPES DU CYCLE DE VIE _____ 8
 - 3.1. Etape de production A1-A3 _____ 8
 - 3.2. Etape de construction A4-A5 _____ 8
 - 3.3. Etape de vie en œuvre B1-B7 _____ 9
 - 3.4. Etape de fin de vie C1-C4 _____ 10
 - 3.5. Potentiel de recyclage / réutilisation / récupération D _____ 10
- 4. INFORMATIONS POUR LE CALCUL DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE _____ 12
- 5. RÉSULTATS DE L'ANALYSE DU CYCLE DE VIE _____ 15
- 6. INFORMATIONS ADDITIONNELLES SUR LE RELARGAGE DE SUBSTANCES DANGEREUSES DANS L'AIR INTÉRIEUR, LE SOL ET L'EAU PENDANT L'ÉTAPE D'UTILISATION _____ 18
 - 6.1. Caractéristiques du produit participant à la qualité sanitaire de l'air intérieur _____ 18
 - 6.2. Caractéristiques du produit participant à la qualité sanitaire de l'eau _____ 18
- 7. CONTRIBUTION DU PRODUIT À LA QUALITÉ DE VIE À L'INTÉRIEUR DES BÂTIMENTS _____ 19
 - 7.1. Caractéristiques du produit participant à la création des conditions de confort hygrothermique dans le bâtiment _____ 19
 - 7.2. Caractéristiques du produit participant à la création des conditions de confort acoustique dans le bâtiment _____ 19
 - 7.3. Caractéristiques du produit participant à la création des conditions de confort visuel dans le bâtiment _____ 19
 - 7.4. Caractéristiques du produit participant à la création des conditions de confort olfactif dans le bâtiment _____ 19

2. Description de l'unité fonctionnelle et du produit

- **Description de l'unité fonctionnelle**
Surface de 1 m² de chaussée à base d'asphalte, assurant une fonction d'étanchéité, sur la base d'une durée de vie de référence de 30 ans.
- **Description du produit**
Le produit étudié est un revêtement en asphalte pour voirie de type chaussée. Il est constitué d'une couche d'asphalte gravillonné de 35 mm d'épaisseur. L'asphalte gravillonné est composé de bitume, de filler (roche calcaire finement broyée), de sable, de graviers et enfin d'asphalte recyclé.
- **Description de l'usage du produit (domaine d'application)**
Étanchéité pour chaussée.
- **Autres caractéristiques techniques non incluses dans l'unité fonctionnelle**
Le produit considéré est conforme à la norme NF EN 13 108-6 et aux fascicules 5 et 6 de l'Office des Asphaltes.
- **Description des principaux composants et/ou matériaux du produit**

Paramètre	Unité	Valeur
Couche d'asphalte (35 mm d'asphalte gravillonné)	Kg/m ²	84,0
Emballages de distribution	-	Sans objet
Pertes lors de la mise en œuvre	%	4% (résidus restant dans les camions après la mise en œuvre)
Produits complémentaires pour la mise en œuvre	-	Sans objet

- **Précision concernant les substances de la liste candidate selon le règlement REACH (si supérieur à 0,1% en masse)**
Le produit ne contient aucune substance de la liste candidate selon le règlement REACH.
- **Description de la durée de vie de référence**

Paramètre	Unité	Valeur
Durée de vie de référence	Années	30
Propriétés déclarées du produit (à la sortie de l'usine) et finitions, etc.	-	Imperméable / étanche (essai d'étanchéité suivant la norme NF P 98 281.1. PV LRPC D'AX N° JCE/C/95/163 du 06/06/95) Isolant phonique (niveau acoustique moyen des revêtements d'asphalte neufs de 85,0 dB(A) suivant la méthode LREF) Se référer aux Fascicules 10, 5 et 6 de l'Office des Asphaltes*
Paramètres théoriques d'application	-	Bonne
Qualité présumée des travaux	-	Se référer au Fascicule 10 de l'Office des Asphaltes*
Environnement extérieur	-	Sans objet
Environnement intérieur	-	Sans objet
Conditions d'utilisation	-	Se référer au Fascicule 10 de l'Office des Asphaltes*
Scénario d'entretien	-	Réfection partielle correspondant à 10% de la chaussée au cours de la durée de vie

*Disponibles à l'adresse suivante : http://www.asphaltes.org/publications_fascicules.php

4. Informations pour le calcul de l'analyse du cycle de vie

Informations pour le calcul de l'Analyse de Cycle de Vie	
PCR utilisé	NF EN 15804+A1 et complément national XP P01-064/CN Les frontières du système respectent les limites imposées par la norme NF EN 15804+A1 et son complément national XP P01-064/CN. Conformément à ces normes, les flux suivants ont été omis du système : - l'éclairage, le chauffage et le nettoyage des sites de production, - le département administratif, - le transport des employés, - la fabrication de l'outil de production et des systèmes de transport (lorsque ceux-ci n'étaient pas directement intégrés dans les inventaires de cycle de vie utilisés), - les émissions à long terme (au-delà de 100 ans, et qui concernent majoritairement les émissions liées aux processus d'enfouissement des déchets).
Frontières du système	On peut distinguer les données utilisées selon deux catégories : - les données de base relatives aux différentes étapes du cycle de vie des revêtements, - les données environnementales (inventaires de cycle de vie, FDES ou modules d'information), qui permettent d'établir l'inventaire de cycle de vie des revêtements à partir des données de base. En ce qui concerne les données de base, les données relatives aux étapes de production, de transport et de déchargement de l'asphalte lors de la mise en œuvre ont été collectées à l'aide d'un questionnaire adressé à différentes centrales de production d'asphalte sélectionnées parmi les 15 centrales de production d'asphalte détenues par les adhérents de l'Office des Asphaltes. La sélection des centrales a été effectuée dans le but d'assurer la représentativité des données utilisées tout en optimisant le temps et les ressources consacrées à la collecte de données. Il faut noter que les sites de production d'asphalte servent à approvisionner à la fois les entreprises qui détiennent ces sites mais également d'autres entreprises qui ne possèdent aucun site de production où qui ne possèdent pas de sites de production dans un périmètre géographique proche des chantiers sur lesquels elles interviennent. Compte tenu de cela, les centrales ont été sélectionnées avec l'objectif : - de disposer de données de production couvrant une grande partie du tonnage produit et/ou mis en œuvre par les adhérents de l'Office des Asphaltes, d'où l'importance de sélectionner une majorité de sites ayant une production élevée, - d'avoir des données de production représentatives de l'asphalte mis en œuvre par la quasi-totalité des adhérents de l'Office des Asphaltes, d'où l'importance de sélectionner des sites de production approvisionnant plusieurs entreprises et couvrant la plupart des entreprises participantes, - d'avoir des données de production assurant une bonne représentativité géographique, d'où l'importance d'avoir des données issues de sites de production répartis dans les différentes régions françaises, - d'avoir des données de production assurant une bonne représentativité technologique, d'où l'importance d'avoir des données issues de sites de production fonctionnant selon les différents technologies actuelles (notamment type d'énergie utilisé : gaz, fioul...).
Sources de données et méthode de recueil des données	Ce processus de sélection a abouti à une sélection de 7 centrales produisant 75% du tonnage total d'asphalte produit par les 15 centrales détenues par les adhérents de l'Office des Asphaltes. Les données collectées auprès des 7 centrales concernent l'année 2013 et portent sur : - la production annuelle selon les différents types d'asphalte (gravillonné pour voirie, gravillonné pour autres applications, sablé, pur), - les distances d'approvisionnement en matières premières, - les consommations de matières premières (recettes) selon les différents types d'asphalte, - les consommations et rejets du procédé de fabrication (énergie, émissions, déchets...), - les consommations de gaz pour le transport jusqu'au chantier et les consommations de fioul pour le chauffage et le malaxage de l'asphalte pendant le chargement et le transport selon les types d'asphalte.

	<ul style="list-style-type: none"> - les consommations de gaz pour le déplacement du camion et les consommations de fioul pour le chauffage et le malaxage de l'asphalte pendant le déchargement selon les types d'asphalte, - les pertes d'asphalte à la mise en œuvre (résidus d'asphalte restant dans les camions). <p>Il faut noter que les données collectées auprès des centrales concernant les consommations et rejets durant la fabrication d'asphalte ainsi que les pertes d'asphalte à la mise en œuvre ne sont pas différenciées par type d'asphalte. Pour chaque centrale, il s'agit de données globales tous types d'asphaltes confondus.</p> <p>La plupart des données de centrale ont été collectées pour 1 tonne d'asphalte. Les données moyennes pour 1 tonne d'asphalte ont été obtenues en effectuant une moyenne pondérée des données de chaque centrale par les tonnages d'asphalte produits par chaque centrale, en fonction des types d'asphalte. Ces données moyennes pour 1 tonne d'asphalte de chaque type ont été ensuite ramenées à 1 m² de revêtement afin d'obtenir les données finales utilisées pour les FDES.</p> <p>Les données de base relatives aux autres aspects liés à la mise en œuvre (utilisation d'accessoires de pose, consommation de gaz, propane pour l'application des feuilles bitumineuses, émissions dans l'air...), à l'utilisation (durée de vie de référence, scénario d'entretien) et à la fin de vie ont été fournies par un comité de pilotage présidé par l'Office des Asphaltes. Il s'agit selon les cas :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de données issues de documentation technique ou de Fiches de Données Sécurité (par exemple pour la composition de l'enduit d'imprégnation à froid (EIF) utilisé comme accessoire de pose), - de données issues de la base de données CIMAROUT (pour ce qui concerne les émissions dans l'air lors de la mise en œuvre de l'asphalte), - ou de direcs d'experts (pour les scénarios d'entretien et les scénarios de fin de vie). <p>Seules les données de base sur le transport des déchets ont fait l'objet d'hypothèses.</p> <p>En ce qui concerne les données environnementales (inventaires de cycle de vie, FDES ou modules d'information), les sources de données sont les suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pour la production de granulats : module d'information, UNPG, - pour la production de feuilles bitumineuses : FDES revêtement d'étanchéité monocouche bitume-polymeré soudé, CSFE, - pour les autres processus : base de données ecoinvent v3.1. <p>En ce qui concerne la représentativité géographique, les données de base utilisées sont représentatives de la situation française (données issues de différents sites de production français ou communiquées par le Comité de Pilotage). Pour les données environnementales, les inventaires de granulats et de membrane bitumineuse sont représentatifs des matériaux produits et commercialisés en France. Il en est de même pour l'inventaire d'électricité qui est représentatif du mix électrique français moyen. Les autres inventaires de la base ecoinvent sont pour la majorité représentatifs de procédés moyens européens.</p> <p>À propos de la représentativité temporelle, les données de base utilisées sont représentatives de la situation actuelle (données 2013 pour la majorité des données). Les données environnementales sont également récentes (base ecoinvent mise à jour en 2014, données sur les granulats qui datent de 2011), à l'exception des données sur les feuilles bitumineuses qui datent de 2007.</p> <p>Enfin, concernant la représentativité technologique, les données de base sont représentatives des technologies employées par les adhérents de l'Office des Asphaltes. Les données de production collectées couvrent 75% du tonnage total d'asphalte produit par les centrales détenues par les adhérents de l'Office des Asphaltes. Les données environnementales sont représentatives de technologies moyennes utilisées en Europe ou en France.</p>
Représentativité géographique, temporelle et technologique des données	La plupart des centrales ayant participé à la collecte de données produisent plusieurs types d'asphalte (gravillonné, sablé, pur).
Allocations	<p>Certaines données fournies par les centrales sont spécifiées par type d'asphalte. Ces données spécifiées sont notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> - les consommations de matières premières, - les consommations de gaz pour le transport jusqu'au chantier et le déplacement sur chantier, - les consommations de fioul pour le chauffage et le malaxage de l'asphalte pendant le chargement, le transport puis le déchargement des camions.

	<p>Pour ces données spécifiques par type d'asphalte, aucune allocation n'a été nécessaire. Les données moyennes par type d'asphalte ont été obtenues en effectuant une moyenne pondérée des données spécifiques de chaque centrale par les tonnages de ce type d'asphalte produits par chaque centrale.</p> <p>Pour toutes les autres données relatives aux consommations et rejets du procédé de fabrication (énergie, émissions, déchets...) ainsi que pour les pertes d'asphalte à la mise en œuvre (résidus d'asphalte restant dans les camions), les données ont été fournies pour 1 tonne d'asphalte, tous types d'asphalte confondus.</p> <p>Pour ces données non spécifiques, il a été considéré que les consommations et rejets sont les mêmes pour tous les types d'asphalte et une répartition en fonction des tonnages produits a été effectuée. Ainsi, pour ces données non spécifiques, les données moyennes pour tous types d'asphalte ont été obtenues en effectuant une moyenne pondérée des données de chaque centrale par les tonnages d'asphalte totaux produits par chaque centrale.</p>
Variabilité des résultats	Sans objet

5. Résultats de l'analyse du cycle de vie

	Étape de fabrication	Étape de mise en œuvre			Étape de vie en œuvre								Étape de fin de vie					Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système					
		A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge	Total fin de vie							
Réchauffement climatique kg CO2 eq/UF	9,51E+00	1,98E+00	1,30E+00	3,27E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,45E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,47E-01	7,02E-01	1,74E-07	1,16E-08	6,79E-02	1,72E+00	1,60E+01	-2,00E+00
Appauvrissement de la couche d'ozone kg CFC 11 eq/UF	1,53E-06	3,57E-07	2,28E-07	5,85E-07	0,00E+00	0,00E+00	2,43E-07	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,74E-07	1,26E-07	1,26E-07	1,16E-08	3,37E-04	3,12E-07	2,67E-06	-1,05E-07
Acidification des sols et de l'eau kg SO2 eq/UF	3,43E-02	1,32E-02	4,73E-03	1,79E-02	0,00E+00	0,00E+00	6,17E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,85E-03	5,29E-03	5,29E-03	3,37E-04	3,37E-04	9,48E-03	6,79E-02	-1,50E-02
Eutrophisation kg (PO ₄) ³⁻ eq/UF	4,27E-03	2,69E-03	6,68E-04	3,36E-03	0,00E+00	0,00E+00	9,46E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	6,53E-04	1,12E-03	1,12E-03	6,19E-05	6,19E-05	1,84E-03	1,04E-02	-1,74E-03
Formation d'ozone photochimique kg Ethene eq/UF	1,87E-03	3,75E-04	2,09E-04	5,84E-04	0,00E+00	0,00E+00	2,78E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,65E-04	1,42E-04	1,42E-04	1,99E-05	1,99E-05	3,27E-04	3,06E-03	-8,69E-04
Épuisement des ressources abiotiques (éléments) kg Sb eq/UF	1,26E-05	6,33E-07	7,95E-07	1,43E-06	0,00E+00	0,00E+00	1,74E-06	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,08E-06	2,28E-07	2,28E-07	6,71E-08	6,71E-08	3,38E-06	1,92E-05	-4,24E-06
Épuisement des ressources abiotiques (fossiles) MJ/UF	4,35E+02	2,82E+01	3,08E+01	5,90E+01	0,00E+00	0,00E+00	5,20E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,44E+01	1,01E+01	1,01E+01	1,09E+00	1,09E+00	2,56E+01	5,72E+02	-3,17E+02
Pollution de l'eau m ³ /UF	3,16E+00	6,26E-01	4,14E-01	1,04E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,78E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,34E-01	2,23E-01	2,23E-01	2,29E-02	2,29E-02	5,80E-01	5,26E+00	-1,14E+00
Pollution de l'air m ³ /UF	1,60E+03	2,16E+02	1,13E+02	3,29E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,17E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,38E+02	8,86E+01	8,86E+01	1,37E+01	1,37E+01	2,41E+02	2,39E+03	-4,79E+02

Utilisation des ressources	Etape de fabrication		Etape de mise en œuvre				Etape de vie en œuvre									Etape de fin de vie				Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système
	Total A1-A3	Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Déconstruction/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge	Total fin de vie			
Utilisation de l'énergie primaire renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire renouvelables utilisées comme matières premières MJ/JF	3,09E+00	3,09E+00	1,51E-01	1,90E-01	3,41E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	5,53E-02	1,80E-01	0,00E+00	3,05E-02	2,86E-01	4,07E+00	-6,18E-01	
Utilisation des ressources d'énergie primaire renouvelables en tant que matières premières MJ/JF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/JF	3,09E+00	3,09E+00	1,51E-01	1,90E-01	3,41E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,70E-01	5,53E-02	1,80E-01	0,00E+00	3,05E-02	2,86E-01	4,07E+00	-6,18E-01	
Utilisation de l'énergie primaire non renouvelable, à l'exclusion des ressources d'énergie primaire non renouvelables utilisées comme matières premières MJ/JF	2,20E+02	2,20E+02	2,85E-01	2,20E-01	5,08E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,96E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,96E+01	1,01E-01	1,47E+01	0,00E+00	1,13E-00	2,59E+01	3,26E+02	-6,28E-01	
Utilisation des ressources d'énergie primaire non renouvelables en tant que matières premières MJ/JF	2,49E+02	2,49E+02	0,00E+00	1,02E-01	1,02E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,59E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,59E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	2,85E+02	-2,58E+02	
Utilisation totale des ressources d'énergie primaire non renouvelables (énergie primaire et ressources d'énergie primaire utilisées comme matières premières) MJ/JF	4,68E+02	4,68E+02	2,85E-01	3,23E-01	6,08E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,55E+01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,55E+01	1,01E-01	1,47E+01	0,00E+00	1,13E-00	2,59E+01	6,11E+02	-3,19E+02	
Utilisation de matière secondaire kg/JF	3,21E+00	3,21E+00	0,00E+00	1,32E-01	1,32E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,35E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,35E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	3,68E+00	0,00E+00	
Utilisation de combustibles secondaires renouvelables MJ/JF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Utilisation de combustibles secondaires non renouvelables MJ/JF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Utilisation nette d'eau douce m3/JF	4,42E-02	4,68E-03	3,76E-03	8,44E-03	8,44E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,86E-03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	5,86E-03	1,71E-03	3,02E-03	0,00E+00	1,19E-03	5,92E-03	6,45E-02	-2,22E-02	

Catégorie de déchets	Etape de fabrication		Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie					Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	Total A1-A3	Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Démonstration/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie
Déchets dangereux éliminés kg/UF	1,05E-01	1,37E-02	8,47E-03	2,22E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E-02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,43E-02	5,37E-03	9,07E-03	0,00E+00	1,01E-03	1,54E-02	1,57E-01	-5,48E-02
Déchets non dangereux éliminés kg/UF	2,44E+00	1,13E-01	1,37E-01	2,49E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,70E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,70E-01	4,35E-02	7,53E-01	0,00E+00	4,22E+00	5,01E+00	8,47E+00	-3,34E-01
Déchets radioactifs éliminés kg/UF	8,98E-04	2,01E-04	1,31E-04	3,32E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E-04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	1,41E-04	7,11E-05	9,85E-05	0,00E+00	6,67E-06	1,76E-04	1,55E-03	-7,10E-05

Flux sortants	Etape de fabrication		Etape de mise en œuvre		Etape de vie en œuvre								Etape de fin de vie					Total cycle de vie de vie	D Bénéfices et charges au-delà des frontières du système	
	Total A1-A3	Production	A4 Transport	A5 Installation	Total mise en œuvre	B1 Usage	B2 Maintenance	B3 Réparation	B4 Remplacement	B5 Réhabilitation	B6 Utilisation de l'énergie	B7 Utilisation de l'eau	Total vie en œuvre	C1 Démonstration/démolition	C2 Transport	C3 Traitement des déchets	C4 Décharge			Total fin de vie
Composants destinés à la réutilisation kg /UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,20E-01	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	4,20E-01	0,00E+00	0,00E+00	4,20E+00	0,00E+00	4,20E+00	4,62E+00	0,00E+00
Matériaux destinés au recyclage kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	3,46E-00	3,46E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,91E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,91E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,56E+01	0,00E+00	7,56E+01	8,70E+01	0,00E+00
Matériaux destinés à la récupération d'énergie kg/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Energie fournie à l'utilisateur (par vecteur énergétique) MJ/UF	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Caz de process	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00

Annexe II - Illustrations des étapes du réemploi de pavés en pierre naturelle

(Sources : Captures d'écran Vidéo Youtube (Mairie de Paris, 2015) et TERRA - Arnaud Bouissou)



Arnaud Bouissou

Opération de dépavage : intervention de la pelle mécanique



Arnaud Bouissou

Les derniers pavés sont ramassés par les ouvriers



Arnaud Bouissou

Transport des pavés et stockage sur site de traitement



(Mairie de Paris, 2015)

Décrochage à l'aide de tambours mécanisés montés sur le bras articulé d'une chargeuse hydraulique



(Mairie de Paris, 2015)

Tri des pavés selon le module ou le type de pavé



(Mairie de Paris, 2015)

Atelier de fendage (débiteuse à granit, éclateuse) des matériaux modulaire en pierre naturelle



(Mairie de Paris, 2015)

Sciage des pavés à la scie circulaire à eau



Arnaud Bouissou

Mise en palette des pavés prêts au réemploi



(Mairie de Paris, 2015)

Autre type de traitement possible : le flammage afin de rendre la surface moins glissante



(Mairie de Paris, 2015)

Autre type de traitement possible : le flammage afin de rendre la surface moins glissante



Arnaud Bouissou

Autre type de traitement possible : le bouchardage pour un aspect naturel du pavé



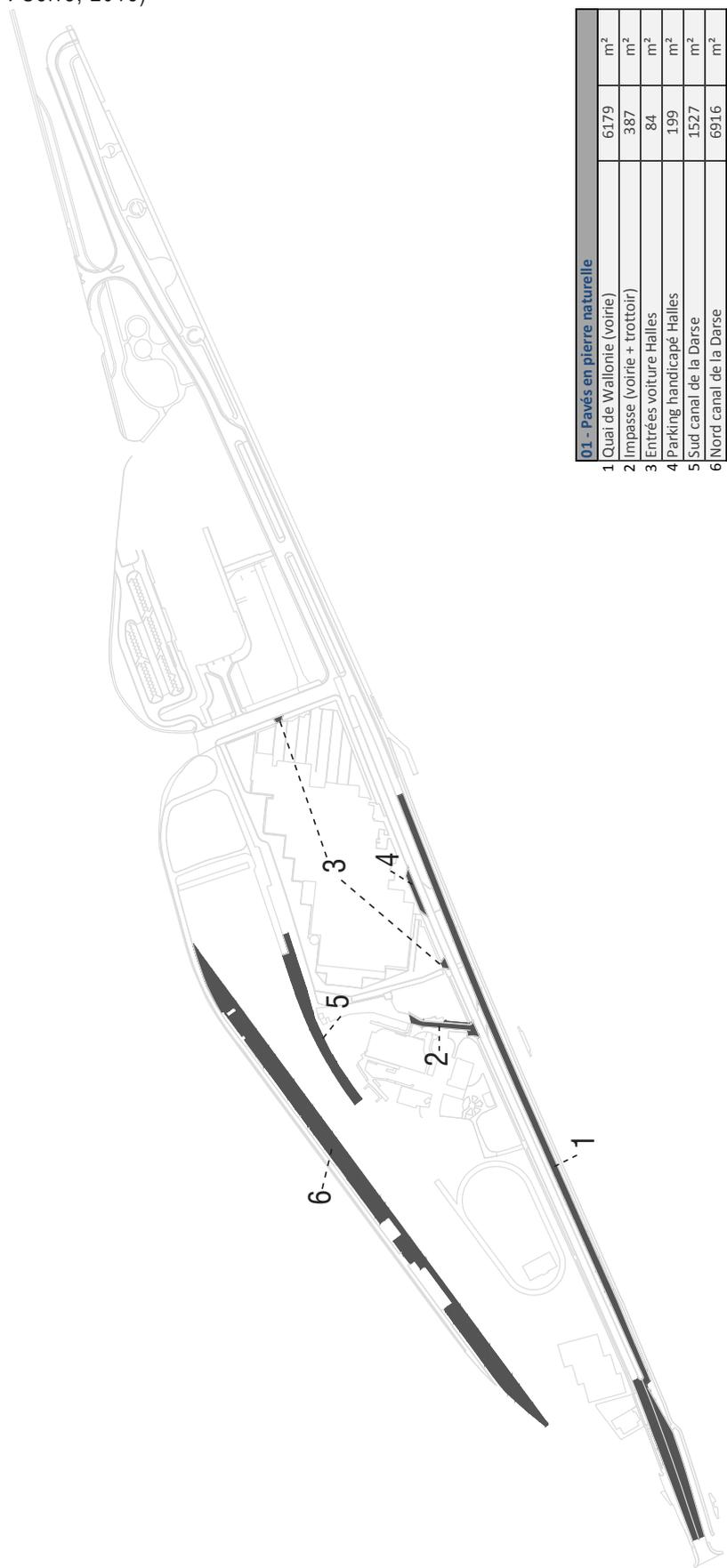
Arnaud Bouissou

Repose des pavés de réemploi

Annexe III - Inventaire des matériaux sur le site de Coronmeuse à Liège

(Source : Sorre, 2018)

01 - Pavés en pierre naturelle



01 - Pavés en pierre naturelle		
1	Quai de Wallonie (voirie)	6179 m ²
2	Impasse (voirie + trottoir)	387 m ²
3	Entrées voiture Halles	84 m ²
4	Parking handicapé Halles	199 m ²
5	Sud canal de la Darse	1527 m ²
6	Nord canal de la Darse	6916 m ²
Total		15292 m²

011 - Dalles en pierre naturelle		
	Equerre	193 m ²
Total		193 m²





Quai de Wallonie (voirie)



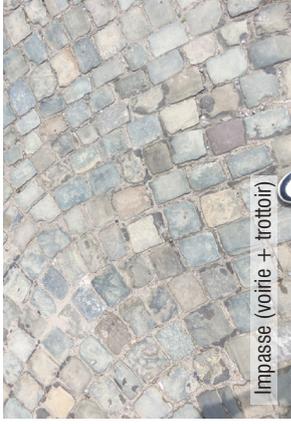
Quai de Wallonie (voirie)



Quai de Wallonie (voirie)



Impasse (voirie + trottoir)



Impasse (voirie + trottoir)



Entrées voitures Halles



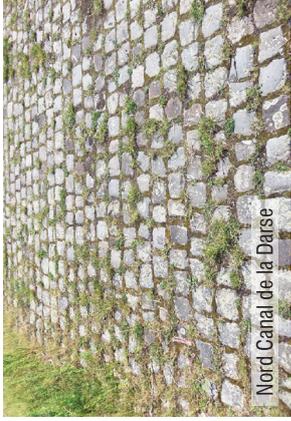
Entrées voitures Halles



Parking PMR Halles



Sud Canal de la Darse



Nord Canal de la Darse



Equerre dalles en pierre

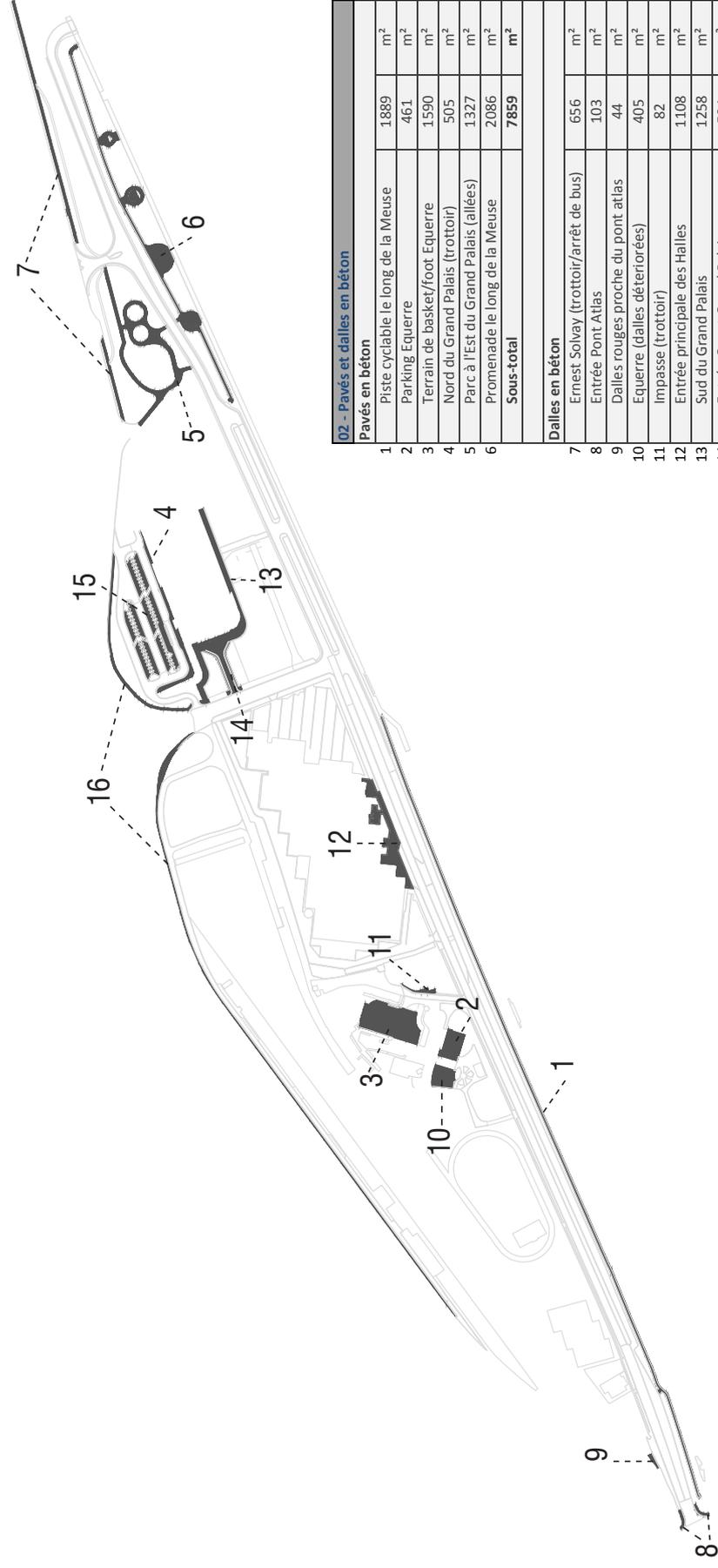


Sud Canal de la Darse



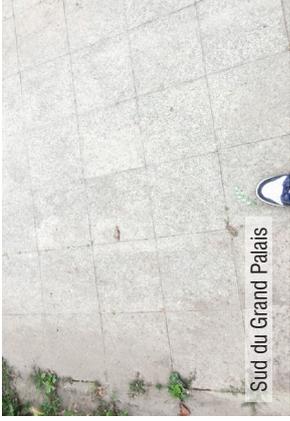
Equerre dalles en pierre

02 - Pavés et dalles en béton



02 - Pavés et dalles en béton		
Pavés en béton		
1	Piste cyclable le long de la Meuse	1 889 m ²
2	Parking Equerre	461 m ²
3	Terrain de basket/foot Equerre	1 590 m ²
4	Nord du Grand Palais (trottoir)	505 m ²
5	Parc à l'Est du Grand Palais (allées)	1 327 m ²
6	Promenade le long de la Meuse	2 086 m ²
	Sous-total	7 859 m²
Dalles en béton		
7	Ernest Solvay (trottoir/arrêt de bus)	656 m ²
8	Entrée Pont Atlas	103 m ²
9	Dalles rouges proche du pont atlas	44 m ²
10	Equerre (dalles détériorées)	405 m ²
11	Impasse (trottoir)	82 m ²
12	Entrée principale des Halles	1 108 m ²
13	Sud du Grand Palais	1 258 m ²
14	Entrée Ouest Grand Palais	504 m ²
15	Parking Nord Grand Palais	1 763 m ²
16	Trottoir Quai de Coronmeuse	1 156 m ²
	Sous-total	7 078 m²
	Total	14 937 m²

① — 200m



Sud du Grand Palais



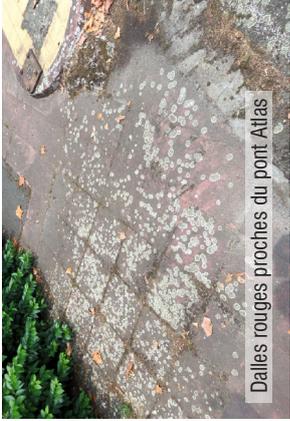
Entrée Ouest grand Palais



Parking Nord Grand Palais



Trottoir Quai de Coronmeuse



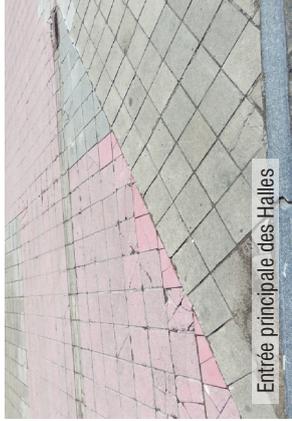
Dalles rouges proches du pont Atlas



Equerre (dalles détériorées)



Impasse (trottoir)



Entrée principale des Halles



Parc à l'Est du Grand Palais (allées)



Promenade le long de la Meuse



Ernest Solvay (trottoir/arrêt de bus)



Entrée Pont Atlas



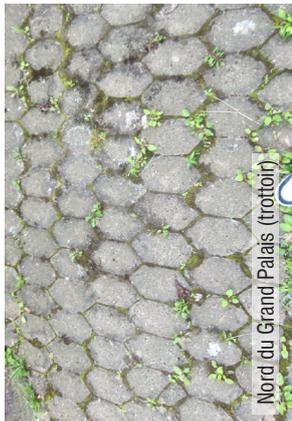
Piste cyclable le long de la Meuse



Parking Equerre

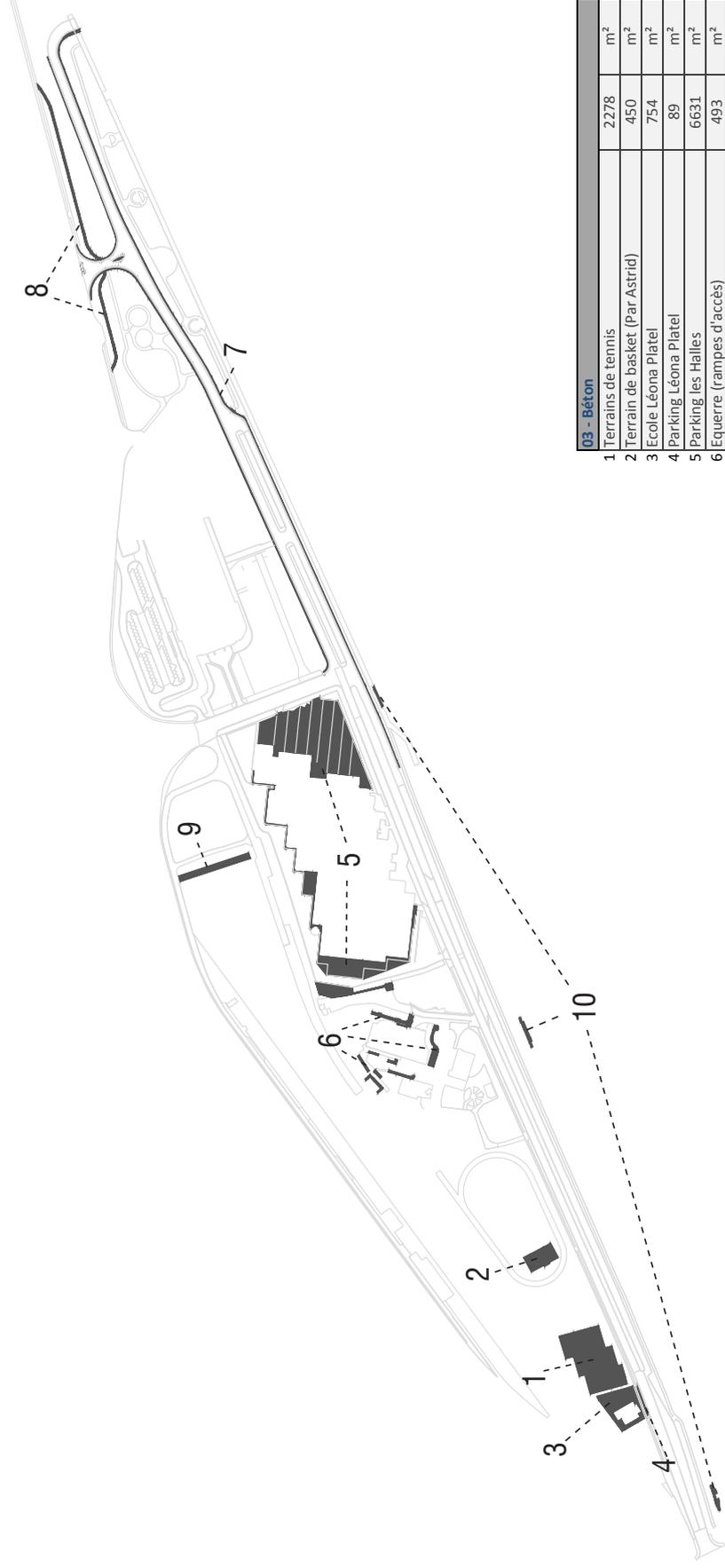


Terrain de basket/foot Equerre



Nord du Grand Palais (trottoir)

03 - Béton

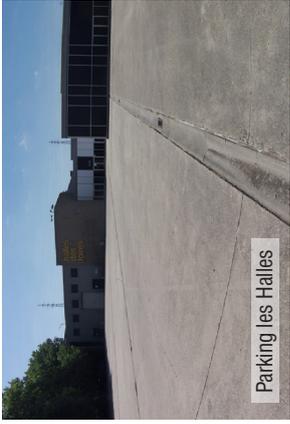


03 - Béton		
1	Terrains de tennis	2 278 m ²
2	Terrain de basket (Par Astric)	450 m ²
3	Ecole Léona Platel	754 m ²
4	Parking Léona Platel	89 m ²
5	Parking les Halles	6 631 m ²
6	Equerre (rampes d'accès)	493 m ²
7	Trottoir Quai de Wallonie	1 106 m ²
8	Trottoir parc Est du Grand Palais	1 638 m ²
9	Quai canal de la Darse	384 m ²
10	Quai Meuse	168 m ²
Total		13 991 m²

① — 200m



Terrains de tennis



Parking les Halles



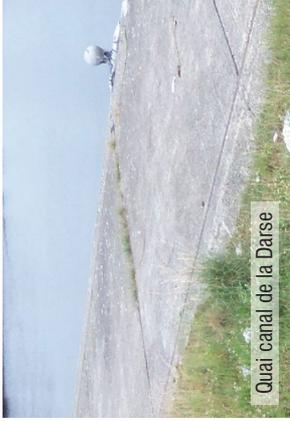
Trottoir parc Est du Grand Palais



Terrain de basket (parc Astrid)



Equerre



Quai canal de la Darse



Ecole Léona Plétel



Trottoir Quai de Wallonie



Quai Meuse

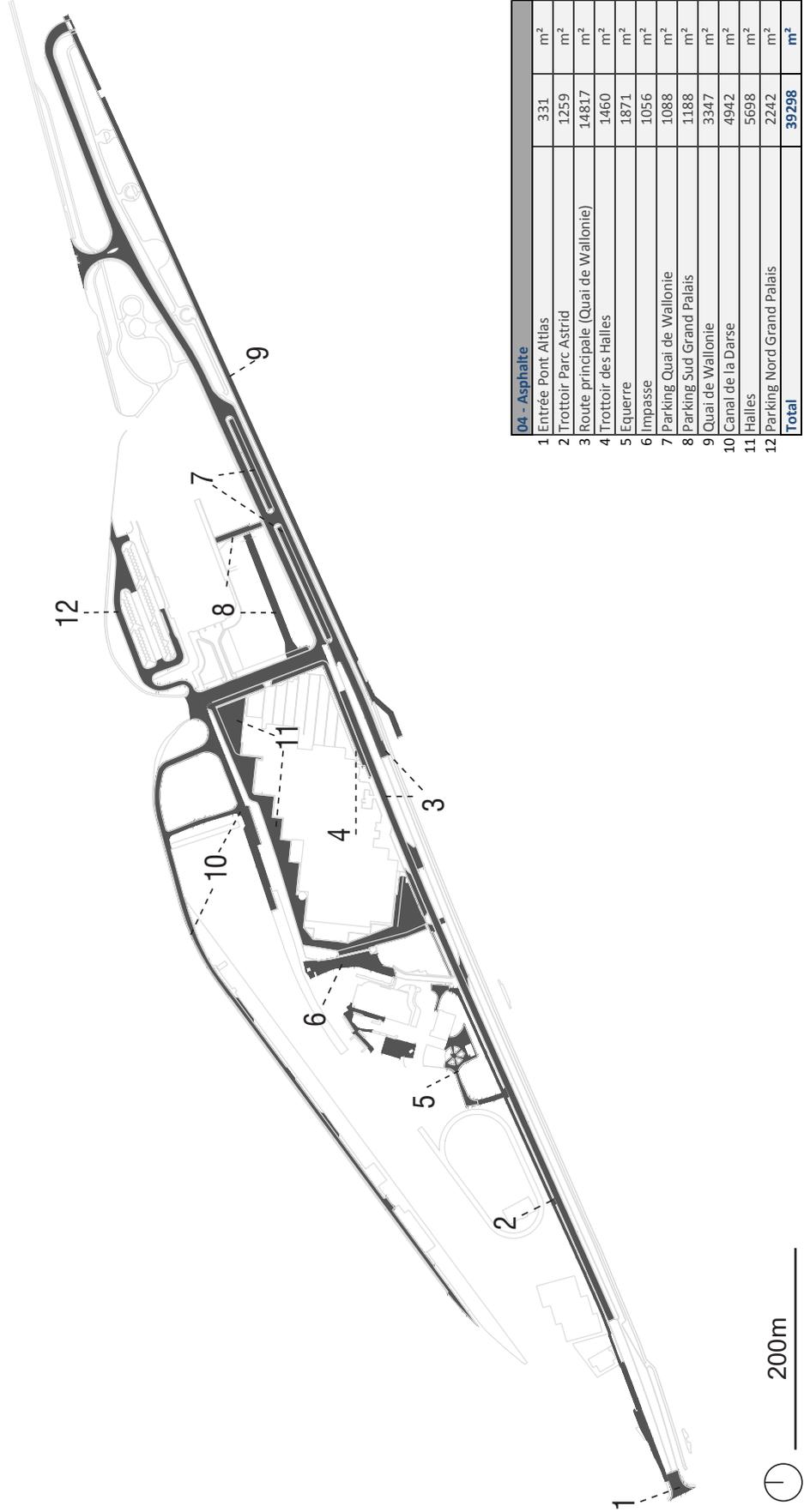


Parking Léona Plétel



Trottoir Quai de Wallonie

04 - Asphalte





Entrée Pont Atlas



Equerre



Quai de Wallonie (promenade)



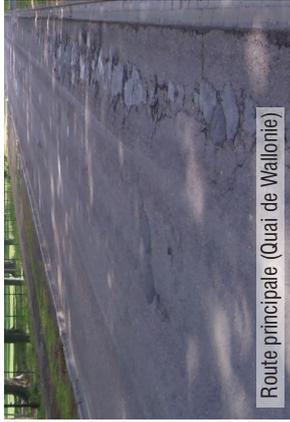
Trottoir Parc Astrid



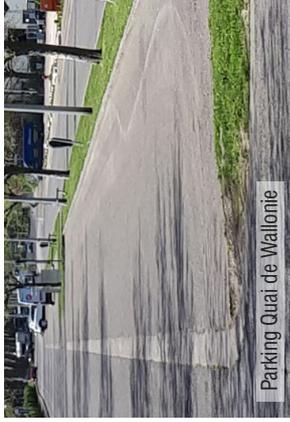
Impasse



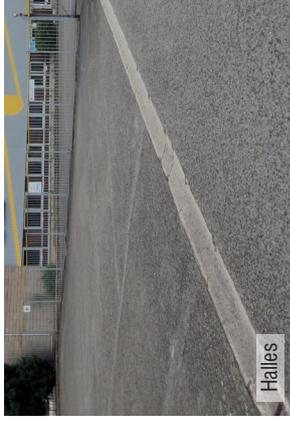
Canal de la Darse



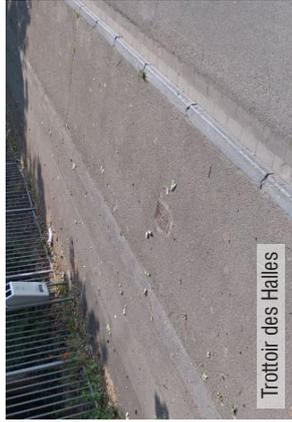
Route principale (Quai de Wallonie)



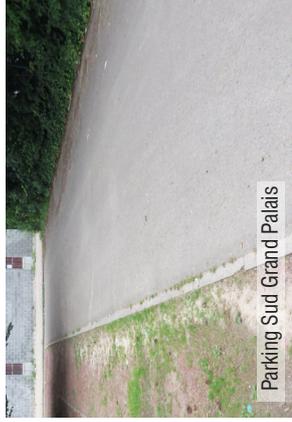
Parking Quai de Wallonie



Halles



Trottoir des Halles

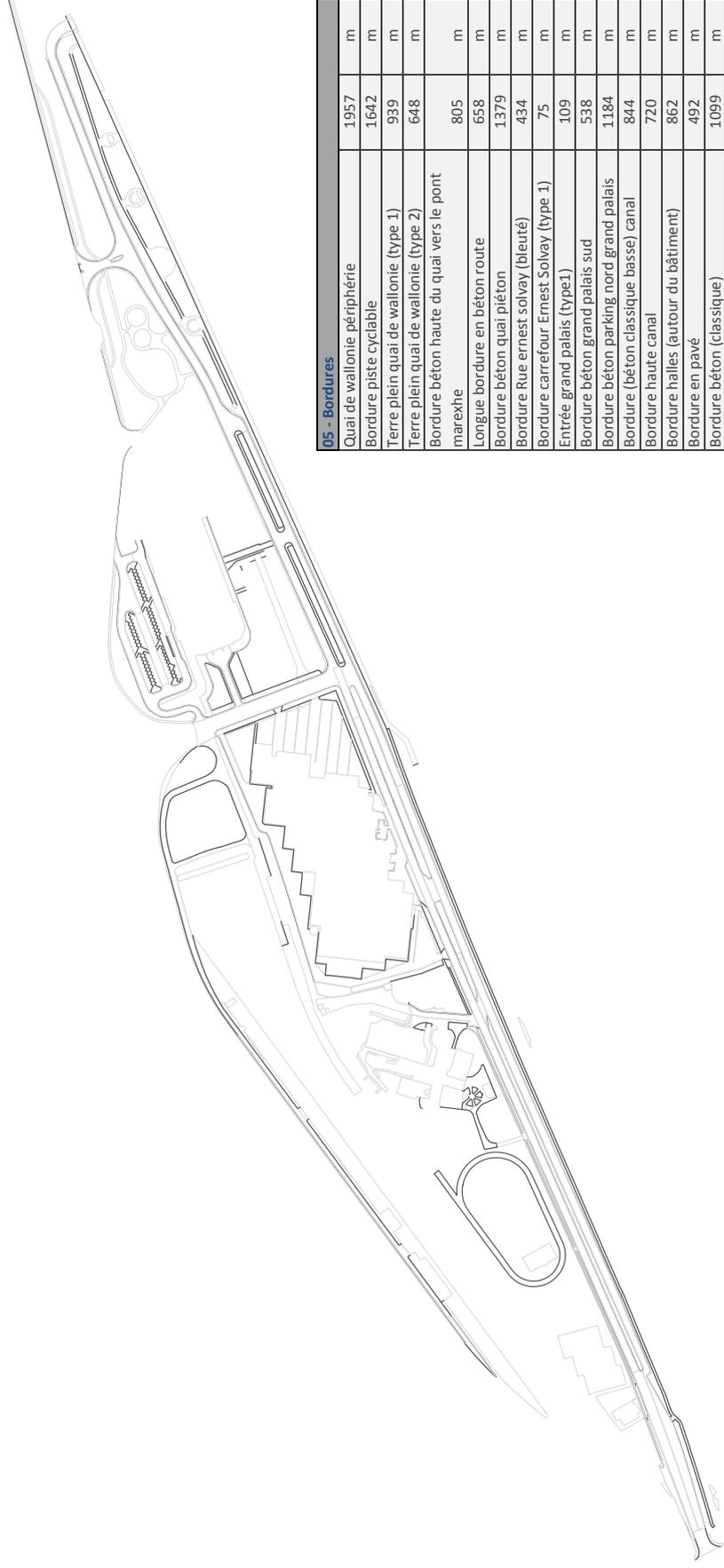


Parking Sud Grand Palais



Parking Nord Grand Palais

05 - Bordures



05 - Bordures			
Quai de wallonie périphérie	1957	m	
Bordure piste cyclable	1642	m	
Terre plein quai de wallonie (type 1)	939	m	
Terre plein quai de wallonie (type 2)	648	m	
Bordure béton haute du quai vers le pont marexhe	805	m	
Longue bordure en béton route	658	m	
Bordure béton quai piéton	1379	m	
Bordure Rue ernest solvay (bleuté)	434	m	
Bordure carrefour Ernest Solvay (type 1)	75	m	
Entrée grand palais (type1)	109	m	
Bordure béton grand palais sud	538	m	
Bordure béton parking nord grand palais	1.184	m	
Bordure (béton classique basse) canal	844	m	
Bordure haute canal	720	m	
Bordure halles (autour du bâtiment)	862	m	
Bordure en pavé	492	m	
Bordure béton (classique)	1.099	m	
Bordure piste de course	732	m	
Bordure equerre	435	m	
Bordure plate béton (liôts stationnement quai de wallonie)	482	m	
Total	16033	m	

200m





Piste de course Parc Astrid



Equerre



Ilot de stationnement Quai de Wallonie



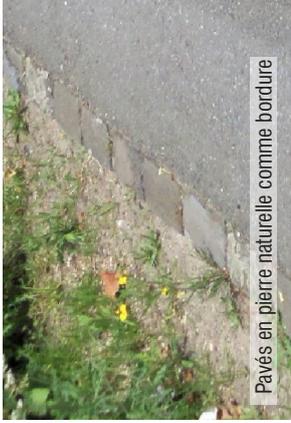
Parking Nord Grand Palais



Bordure béton classique



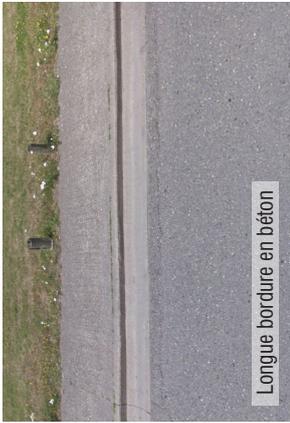
Bordure haute canal de la Darse



Pavés en pierre naturelle comme bordure



Vers le pont Marexhe



Longue bordure en béton



Quai de Wallonie (promenade)



Grand Palais Sud



Quai de Wallonie (bleuté)



Piste cyclable

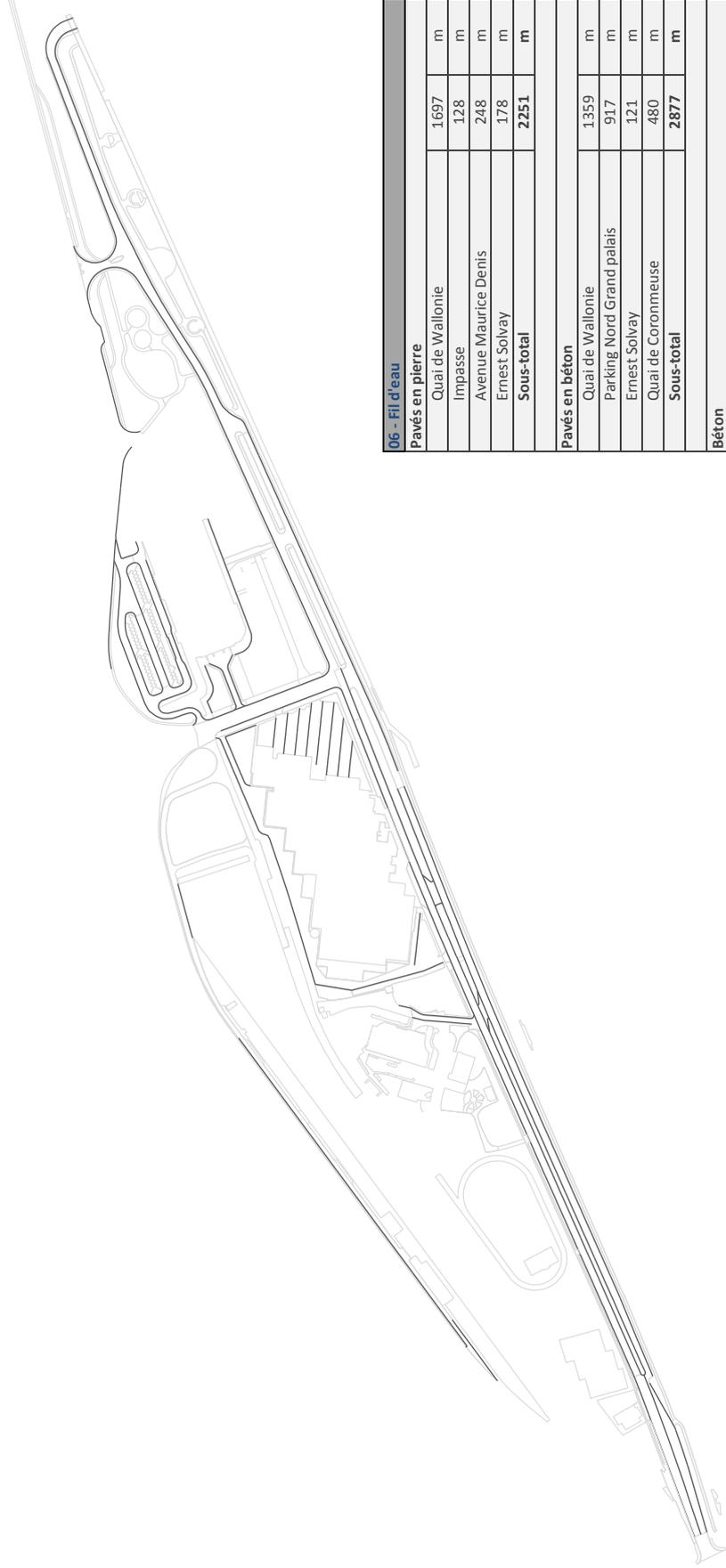


Terre plein Quai de Wallonie (type1)



Terre plein Quai de Wallonie (type 2)

06 - Fil d'eau



06 - Fil d'eau		
Pavés en pierre		
Quai de Wallonie	1697	m
Impasse	128	m
Avenue Maurice Denis	248	m
Ernest Solway	178	m
Sous-total	2251	m
Pavés en béton		
Quai de Wallonie	1359	m
Parking Nord Grand palais	917	m
Ernest Solway	121	m
Quai de Coronmeuse	480	m
Sous-total	2877	m
béton		
Quai de Wallonie	1603	m
Parking des Halles	871	m
Entrée et Sud Grand Palais	293	m
Sous-total	2766	m
Total	7894	m

① ——— 200m



Quai de Wallonie



Parking des Halles



Entrée et Sud Grand Palais



Quai de Wallonie



Parking Nord Grand Palais



Ernest Solvay



Quai de Coronmeuse



Quai de Wallonie



Impasse



Avenue Maurice Denis



Ernest Solvay

	Diplôme : Ingénieur Spécialité : Paysage Spécialisation / option : Paysage : Opérationnalité et Projet Enseignant référent : Vincent Bouvier
Auteur(s) : Tanguy Sorre Date de naissance* : 24/04/1996	Organisme d'accueil : BUUR Adresse : Sluisstraat 79 / 03.02 B-3000, Leuven, Belgique
Nb pages : 40 Annexe(s) : 3	
Année de soutenance : 2018	Maître de stage : Kobe Vanhaeren
Titre français : Dans quelles mesures le paysagiste peut-il optimiser la consommation de ressources naturelles et la production de déchets à travers l'éco-conception d'espaces publics ?	
Titre anglais : In what way can the landscape architect optimize the consumption of natural resources and the production of waste through the eco-design of public spaces ?	
Résumé (1600 caractères maximum) : Extraire, produire, consommer, jeter. Tel est le système linéaire dans lequel s'inscrit notre économie en Europe depuis la révolution industrielle. L'aménagement des espaces publics s'avère être un important consommateur de ressources naturelles et producteur de déchets. Ce mémoire s'attache à comprendre comment le paysagiste peut optimiser cet aménagement à travers l'éco-conception des espaces publics. Dans le cas de projets d'aménagement sur des terrains naturels ou agricoles, mais aussi pour des aménagements de rénovation urbaine, le concepteur paysagiste limite l'impact environnemental des matériaux choisis mis en œuvre et fait des choix de conception pouvant agir à posteriori sur la consommation de ressources. Dans le cadre de rénovation urbaine où des matériaux sont déjà présents en quantité in situ, le paysagiste peut envisager le réemploi comme levier d'action à l'échelle d'un projet d'écoquartier (ici Coronmeuse), intégré au processus d'éco-conception. La dernière partie identifie les limites et les opportunités d'envisager le réemploi à plus grande échelle au niveau de l'aménagement urbain.	
Abstract (1600 caractères maximum) : Extract, produce, consume, throw. This is the linear system in which our economy is based in Europe since the industrial revolution. The development of public spaces is proving to be a major consumer of natural resources and a producer of waste. This thesis focuses on understanding how landscape architects can optimize this development through the eco-design of public spaces. In the case of projects on natural or agricultural areas, but also for urban renewal projects, the landscape designer limits the environmental impact of the selected materials used and makes design choices that can have impact a posteriori on the resource consumption. In the context of urban renewal where materials are already present in situ, the landscape architect can consider reuse as an effective lever at the scale of an eco-neighbourhood project (here Coronmeuse), integrated into the eco-design process. The last part identifies the limits and opportunities to consider reuse on a larger scale in urban planning.	
Mots-clés : éco-conception / économie circulaire / écoquartier / ressources naturelles / déchets / réemploi	
Key Words : eco-design / circular economy / sustainable neighbourhood / natural resources / waste / reuse	

* Élément qui permet d'enregistrer les notices auteurs dans le catalogue des bibliothèques universitaires