

ANALYSE *A POSTERIORI* DE 32 PROJETS DE CONSTRUCTION ET DE RÉNOVATION

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

ANALYSE A *POSTERIORI* DE 32 PROJETS DE CONSTRUCTION ET DE RÉNOVATION

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

Auteur·e·s et contributeur·ice·s :

Célia Chaussebel (Rotor)
Mathilde Doutreleau (CSTB)
Gaspard Geerts (Rotor)
Michaël Ghyoot (Rotor)
Emilie Gobbo (Bruxelles Environnement)
Elodie Macé (CSTB)
Elham Maghsoudi Nia (TU Delft)
Victor Meesters (Rotor)
Martine Mouchet (Bruxelles Environnement)
Mona Nasserredine (CSTB)
Marie-Annick Rabefiraisana (Rotor)
Charline Richard (Bruxelles Environnement)
Ad Straub (Tu Delft)

Avec le support de :

Bruno Domange (LIST)
Duan Hua (LIST)
Merel Limbeek (Utrecht)
Sara Rademaker (Utrecht)
Hugo Topalov (Bellastock)

Merci à l'ensemble des architectes et bureaux d'étude qui ont contribué à ce travail en partageant leurs expériences et leurs données.

Coordonnées :

Rotor asbl - 3 avenue de Bâle, 1040 Bruxelles.

info@rotordb.org

Ce document a été produit dans le cadre du projet Interreg NWE 739 Faciliter la Circulation des Éléments de Construction Récupérés (*Facilitating the Circulation of Reclaimed Building Elements, FCRBE*), qui a été implémenté entre octobre 2018 et décembre 2023.

Publication en ligne : septembre 2023.

L'objectif du projet FCRBE est d'augmenter de 50 % la quantité d'éléments de construction récupérés et remis en circulation dans le nord-ouest de l'Europe d'ici à 2032. Ce manuel a été élaboré dans le cadre de la capitalisation du projet (2022-23). Il correspond au livrable WP T4.2.2.

<https://vb.nweurope.eu/fcrbe>

Le contenu de ce document a été mis à l'épreuve, promu et validé dans le cadre de quatre *live tests* ainsi qu'au cours de trois voyages d'études (à Bruxelles, Rennes et Utrecht) impliquant la participation de diverses maîtrises d'ouvrage et autres professionnel·le·s de la construction.

Les auteur·ices et les organismes de financement du projet FCRBE ne sont pas responsables de l'usage qui pourrait être fait des informations contenues dans ce document. La production de ce document a bénéficié du soutien du Fonds européen de développement régional, au travers du programme Interreg NWE.



Le projet FCRBE est un partenariat entre Bellastock, Buildwise, Bruxelles Environnement, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Embuild, le LIST, Rotor, Salvo, la TU Delft, l'Université de Brighton et la Ville d'Utrecht.

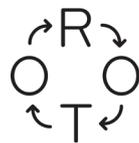


TABLE DES MATIÈRES

1° MÉTHODOLOGIE	11
1.1 Contexte	11
1.2 Collecte de données	14
1.3 Répartition en layers	14
1.4 Calcul de la masse totale des matériaux par <i>layers</i> et calcul du taux de réemploi.....	17
2° CORPUS DES PROJETS.....	21
2.1 Sélection des projets	21
2.2 Les projets	23
2.3 Catégories de projets	24
3° RÉSULTATS	27
3.1 Tableau des taux de réemploi	27
3.2 Analyse des résultats	30
Quelques remarques sur l'analyse des taux de réemploi par catégorie et par <i>layer</i>	30
Catégorie 1 : transformations de bâtiments existants pour héberger des activités socio-culturelles.....	32
Catégorie 2 : logements	35
Catégorie 3 : bâtiments tertiaires	39
Catégorie 4 : micro-projets et démonstrateurs.....	43
Catégorie 5 : aménagements extérieurs et espaces publics.....	46
Peut-on extrapoler des taux indicatifs généraux ?	48
3.3 Évaluation des bénéfices environnementaux.....	54

4. DISCUSSIONS	59
4.1 Taille de l'échantillon.....	59
4.2 Des projets pionniers.....	60
4.3 Hypothèses et extrapolations	60
4.4 Prendre les indicateurs avec précaution.....	61
5. CONCLUSION	63
ANNEXE 1 : EXPLICATION DÉTAILLÉE DES HYPOTHÈSES	65
1 Bases de données de référence.....	66
1.1 ICE et KBOB.....	66
1.2 Base de données interne et masses unitaires	67
2 Hypothèses spécifiques	67
2.1 Évaluer de manière conservatrice	67
2.2 Calcul du mortier dans le cas d'un mur en brique.....	68
2.3 Calcul du mortier dans le cas des pavés en pierre	68
2.4 Calcul simplifié de la masse des fenêtres.....	69
2.5 Estimation de la masse des équipements (sanitaires, HVAC, electricité)	69
2.6 Tableau des éléments par <i>layer</i>	70

1° MÉTHODOLOGIE

1.1 Contexte

Le présent document détaille l'approche suivie pour l'analyse des taux de réemploi atteint par 32 projets de construction et de rénovation qui ont réutilisé avec succès des matériaux et des éléments de construction. Cette analyse a pour particularité d'avoir calculé les taux de réemploi *a posteriori*, c'est-à-dire pour des projets déjà achevés.

Il est l'un des quatre rapports complémentaires produits par le projet FCRBE dans le cadre du travail sur les taux de réemploi (et de récupération). Les quatre documents sont les suivants :

1. *Fixer, suivre et rapporter sur les taux de récupération et de réemploi dans les projets de construction. Une approche commune.* Celui-ci établit les définitions nécessaires et présente les principaux aspects méthodologiques permettant de traiter la question des taux de réemploi et de récupération.
2. *Analyse a posteriori de 32 projets de construction et de rénovation. Résultats et discussions.* Il s'agit du présent document. Il rend compte d'un travail de calcul et d'analyse

des taux de réemploi atteints dans un échantillon de 32 projets achevés récemment.

3. *32 detailed project sheets. Project info, reuse rate and reused elements.* Ce document est un complément à l'analyse des projets décrite ci-dessous. Il détaille les résultats atteints pour chaque projet analysé au regard de ses spécificités. Il offre également un aperçu plus approfondi de la nature et de la quantité des matériaux ayant pu être réemployés au sein de ces réalisations.

4. *Live tests. Report on 4 operations using reuse targets.* Ce dernier document rend compte de *live tests* qui ont exploré comment mettre en œuvre des taux de réemploi dans diverses procédures de passation de marchés.

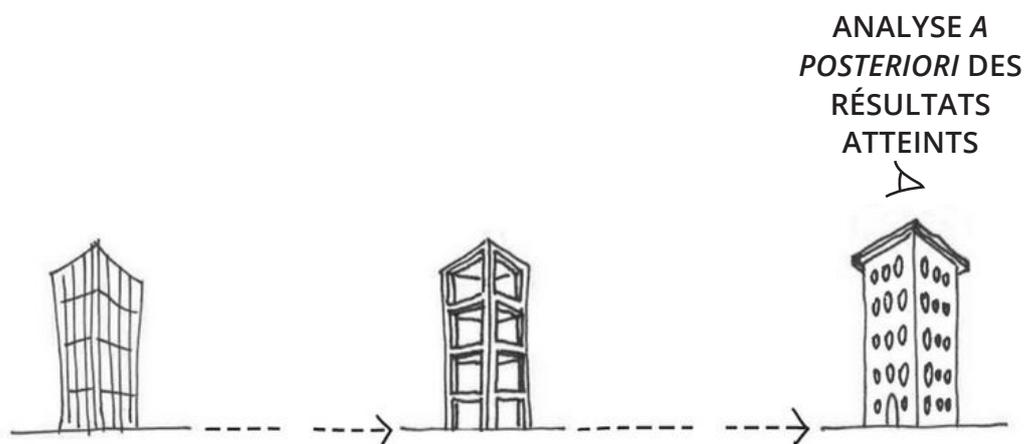
Dans le cadre du travail d'analyse mené ici, la plupart des réalisations que nous avons analysées n'avaient pas explicitement établi un taux de réemploi comme objectif à atteindre en début de projet (tel que nous le décrivons dans *Fixer, suivre et rapporter sur les taux de récupération et de réemploi dans les projets de construction*). La plupart d'entre elles avaient par contre formulé des objectifs de réemploi qualitatifs et ouverts, que notre analyse *ex-post* permet de quantifier¹.

Notre objectif à travers l'analyse de ces 32 projets était de prendre connaissance des taux de réemploi qu'il est possible d'atteindre dans différents contextes et de voir s'il était possible d'en déduire des taux indicatifs utiles pour appuyer la formulation d'objectifs quantitatifs dans de futurs projets.

Nos analyses se focalisent uniquement sur le taux de réemploi. Celui-ci correspond à la fraction de matériaux réemployés par rapport à l'ensemble des matériaux nécessaires à la réalisation des travaux (cf. *chapitre 2 de Fixer, suivre et rapporter sur les taux de récupération et de réemploi dans les projets de construction*).

1- Certains des projets analysés avaient déjà effectué un bilan quantitatif de leurs efforts en matière de réemploi. Lorsqu'ils étaient disponibles, ces bilans ont été une précieuse source d'information pour notre propre analyse. Pour assurer la cohérence de l'approche à travers nos 32 projets, nous avons toutefois généralement dû reprendre ce travail d'analyse.

- ☞ Selon le modèle stock-flux développé dans notre méthode générale, nos analyses se concentrent donc uniquement sur le flux entrant. Nous n'avons pas procédé à l'analyse du taux de récupération (correspondant au flux sortant) ni au calcul taux de maintien (correspondant au stock préservé, c'est-à-dire la partie des bâtiments originaux qui n'a pas été démolie) pour les divers projets analysés. Cela ne veut pas dire que ceux-ci n'ont fait aucun effort sur ces plans-là. Bien au contraire, pour certains, c'est même tout l'inverse ! Cependant, notre objectif était bien de nourrir la réflexion sur la façon dont la réalisation de travaux de construction et de rénovation peut stimuler le développement des filières de réemploi et généraliser l'adoption de ces pratiques. Ceci explique le focus de notre approche.



1.2 Collecte de données

La première étape de l'analyse a consisté à identifier un échantillon de projets achevés et ayant mis en œuvre une démarche de réemploi (cf. ci-dessous [chapitre 2](#)). Il s'agissait ensuite d'obtenir les données relatives aux flux de matériaux mis en œuvre dans le projet. Nous cherchions en effet à connaître leur nature et leur quantité.

En principe, ce type d'information peut être déduit d'un dossier *as built*, contenant notamment :

- Le métré du projet, qui donne des informations quant aux quantités de matériaux à mettre en œuvre.
- Le cahier des charges, qui détaille la nature des matériaux attendus et les modalités de leur mise en œuvre.
- Les plans définitifs, qui complètent les informations relatives aux quantités.
- Les fiches techniques des équipements mis en place, qui détaillent les caractéristiques des éléments effectivement mis en œuvre.

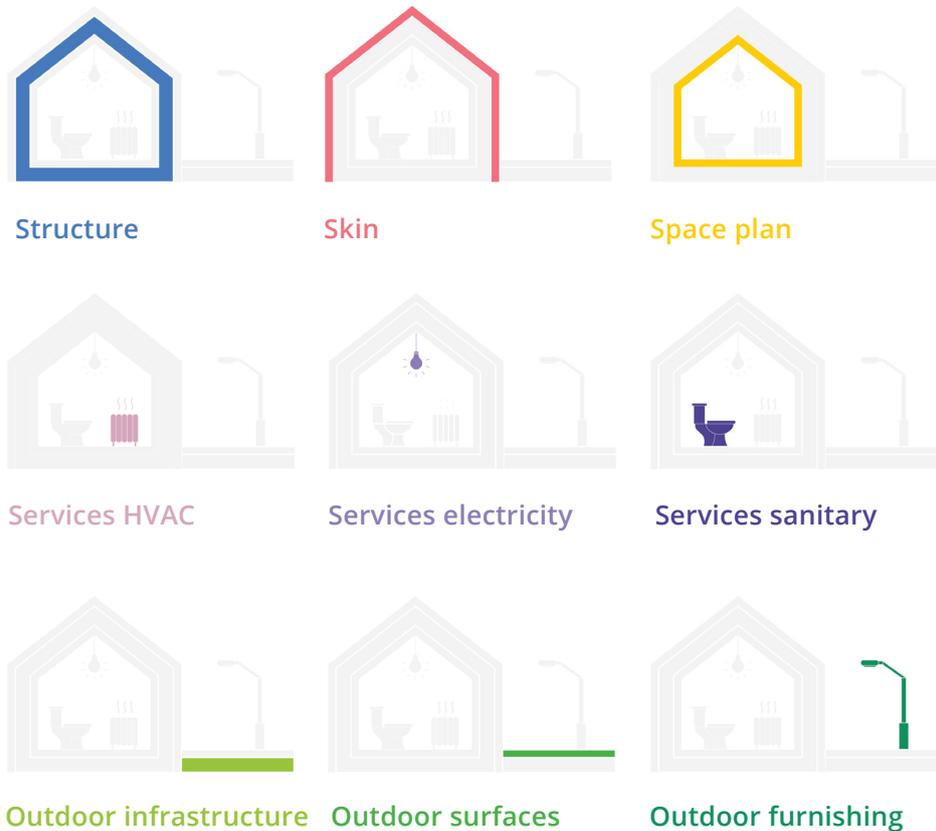
En pratique, pour plusieurs projets, nous n'avons pu collecter qu'une partie de ces documents, ce qui ne nous a pas empêché de procéder aux analyses moyennant quelques hypothèses de travail clairement formulées (cf. ci-dessous [Annexe 1](#)).

1.3 Répartition en layers

Dans notre approche, nous avons choisi de travailler avec un taux de réemploi exprimé par layer¹. Nous avons utilisé les layers suivants :

1- Stewart Brand, *How Buildings Learn: What Happens After They're Built* (Viking Press, 1994).

- Structure.
- Enveloppe (*skin*).
- Aménagements intérieurs (*space plan*).
- Équipement de climatisation (*services - HVAC*).
- Équipement électrique (*services - electricity*).
- Équipement sanitaire (*services - sanitary*).
- Infrastructures extérieures (*outdoor infrastructure*).
- Surfaces extérieures (*outdoor surfaces*).
- Mobilier fixe extérieur (*outdoor furniture*).



Dans notre analyse, nous avons laissé de côté le mobilier, qui correspond au layer *Stuff* dans le modèle de Brand.

Ceci nous permettait d'assurer, pour les *layers* les plus récurrents, une meilleure comparabilité entre les projets malgré un échantillon relativement restreint. C'était aussi une façon de se focaliser sur les parties les plus pertinentes des réalisations – celles qui avaient effectivement fait l'objet d'opérations de réemploi – et d'alléger ainsi quelque peu le travail d'analyse.

En pratique, dans chaque projet, nous nous sommes appuyés sur le métré (bordereau des quantités). Pour chaque ligne, nous avons spécifié :

- S'il s'agissait d'un élément neuf ou de réemploi
- À quel *layer* cet élément appartenait.

Dans certains projets, la subdivision initiale du métré correspondait assez bien à la structuration par *layers* que nous avons adoptée. Dans d'autres cas, il a été nécessaire de réorganiser le métré selon nos *layers* – répartition qui implique nécessairement d'opérer des choix (certains éléments pouvant prêter à interprétation) et d'ensuite être transparent et cohérent vis-à-vis de ces choix.

 Seuls les *layers* contenant du réemploi ont fait l'objet d'une analyse détaillée. C'est pourquoi, sauf exception, nous ne pouvons pas exprimer le taux de réemploi atteint à l'échelle d'un projet complet.

Exemple : imaginons un projet de construction neuve dont tous les efforts se résument au réemploi de 10 portes intérieures et de 10 lavabos. Dans ce cas, nous avons concentré notre analyse sur les *layers* suivants : aménagements intérieurs (space plan) et équipement sanitaire (services sanitary). Par contre, pour chacun de ces *layers*, nous avons analysé l'ensemble du flux de matériaux concernés (c'est-à-dire matériaux neufs et matériaux de réemploi).

Les autres *layers* n'ont pas été analysés en détail puisque nous savions déjà que le taux de réemploi de ceux-ci était de 0 %.

1.4 Calcul de la masse totale des matériaux par *layers* et calcul du taux de réemploi

Une fois les métrés (bordereau des quantités) adaptés selon nos *layers*, nous avons procédé au calcul du taux de réemploi. Pour ce faire, nous avons attribué une masse à chaque ligne du métré appartenant à un *layer* concerné par du réemploi.

Nous avons choisi de travailler en masse afin d'avoir une unité homogène permettant la comparaison d'éléments par ailleurs très divers. Bien que ce choix ne soit pas exemple de biais¹, ceux-ci sont largement mitigés par la subdivision en *layers*. Celle-ci évite en effet de mélanger des éléments dont la masse présente des ordres de grandeur trop différents (100 m³ de chape en béton coulé comparés à une dizaine de poignées de porte en nylon, par exemple).

En pratique, il s'avère que la masse des matériaux est rarement indiquée telle quelle dans les bordereaux et les métrés. Les quantités y sont généralement exprimées selon des unités variées (mc, m², m³, pc, etc.). Une conversion est dès lors nécessaire afin d'obtenir la masse des matériaux, utilisée pour calculer les taux de réemploi.

Dans notre analyse, nous avons opéré la conversion de la façon suivante :

1. Pour les matériaux homogènes, nous avons obtenu la masse en multipliant le volume par la masse volumique (kg/m³) (ou, plus rarement, la surface par la masse surfacique (kg/m²)). Lorsqu'il n'est pas exprimé tel quel, le volume est généralement aisé à calculer si l'on peut retrouver les spécifications des matériaux concernés. Par exemple, un ouvrage de maçonnerie exprimé en surface, dont on connaît par ailleurs l'épaisseur des briques.

1- Ceux-ci sont détaillés dans le document décrivant la méthode générale de fixation des taux de réemploi.

2. Pour les matériaux composites et/ou dont le volume est complexe à mesurer, on obtient la masse en multipliant le nombre de pièces par leur masse unitaire.

La masse volumique et la masse unitaire sont également des informations qui n'apparaissent pas toujours telles quelles dans les métrés. Il faut donc aller chercher l'information ailleurs. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur les éléments suivants, par ordre de préférence :

1. Fiches techniques des éléments concernés. Une investigation dans les plans, les photos, les fiches techniques, le dossier d'intervention ultérieur, etc. permet généralement (mais pas toujours...) de retrouver des données précises sur les éléments mis en œuvre.

2. Si l'information spécifique n'était pas disponible, alors nous nous sommes appuyés sur des bases de données de référence, dans lesquelles la masse volumique des matériaux est exprimée (le plus souvent, il s'agissait de bases de données visant à exprimer l'impact environnemental des matériaux, cf. ci-dessous [annexe 1](#)).

3. Hypothèses spécifiques. Lorsque l'information spécifique n'était pas disponible et qu'il n'était pas non plus possible de s'appuyer sur des données types, nous avons formulé des hypothèses, le plus souvent en nous appuyant sur des données relatives à des éléments comparables. Ces hypothèses sont à chaque fois mentionnées et référencées dans notre base de données de référence.

Après avoir identifié l'ensemble des éléments constituant un *layer* concerné par le réemploi, nous avons calculé sa masse totale y compris la masse des éléments de réemploi. Une simple division nous permet alors d'établir le taux de réemploi atteint au sein d'un *layer* donné.

Exemple :

ID	Description	Données	Unité	Quantité	Réemploi ou neuf ?	Layer	Masse (kg)	Source
N	Application N							
N.1	Composant 1	épaisseur = 0,01 m, $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$	m ²	100	Neuf ▼	Aménagements intérieurs ▼	1.000	Pour l'épaisseur : fiche technique du fabricant. Pour la masse volumique : idem.
N.2	Composant 2	épaisseur = 0,01 m, $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$	m ²	100	Réemploi ▼	Aménagements intérieurs ▼	1.000	Pour l'épaisseur : cahier des charges du projet. Pour la masse volumique : base de données de référence.
Masse totale du <i>layer</i> Aménagements intérieurs (kg)							2.000	
Masse totale des éléments réemployés dans le <i>layer</i> Aménagements intérieurs (kg)							1.000	
Taux de réemploi (%)							50	

2° CORPUS DES PROJETS

2.1 Sélection des projets

Partant d'une présélection d'une soixantaine de projets, nous en avons retenu 32 en fonction de divers critères de sélection.

Le premier critère était basé sur le fait que ces projets aient réutilisé avec succès des matériaux et des éléments de construction. Pour les identifier, nous avons utilisé plusieurs sources d'information :

- Sites web recensant des projets de réemploi (e.a. Opalis.eu).
- Opérations pilotes réalisées dans la première phase du projet FCRBE¹.
- Littérature sur le sujet du réemploi.

De plus, nous avons veillé à ce que ces projets soient répartis géographiquement dans les différents pays de la zone du projet FCRBE. Au total, 14 réalisations choisies sont situées en Belgique, 9 en France, 8 aux Pays-Bas et 1 au Royaume-Uni.

¹- FCRBE, *FCRBE Pilot Operations. 37 case studies on reclaiming and reusing building elements*. Novembre 2021. Disponible en ligne : https://vb.nweurope.eu/media/15788/37-po-summary-report_cv_low.pdf

Par la suite, nous avons privilégié la diversité en termes de programmes. Les projets choisis couvrent un large éventail de fonctions (voir ci-dessous le [point 2.3](#)). Nous avons considéré qu'étudier exclusivement des projets de bureaux, par exemple, ne serait pas suffisamment représentatif. De plus, nous avons recherché un équilibre entre constructions neuves et rénovations (dont nous verrons plus loin qu'il s'agit d'un facteur très impactant quant aux taux de réemploi qu'il est possible d'atteindre). Nous avons toutefois essayé d'obtenir, pour les différentes typologies de travaux pressenties, une certaine quantité de projets afin de disposer dans tous les cas de points de comparaison.

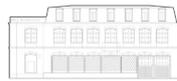
Un autre critère portait sur les conditions de répliquabilité des projets sélectionnés. Dans la mesure du possible, nous avons opté pour des projets qui s'inscrivent dans des cadres relativement courants, en évitant les projets menés dans des contextes quelque peu exceptionnels (un workshop pour étudiants, par exemple) ou ceux disposant de budgets exorbitants. Notre objectif était de privilégier des projets se rapprochant le plus possible des pratiques courantes (bien que ce point soit sujet à discussion, cf. ci-dessous le [point 4.2](#)).

Nous avons également privilégié des projets relativement récents. Le plus ancien, Bedzed, a été achevé en 2002.

Enfin, nous avons cherché à diversifier les échelles d'intervention, avec des projets concernant des bâtiments de quelques mètres carrés, mais aussi des travaux sur des bâtiments d'une surface totale de plusieurs dizaines de milliers de mètres carrés ou même des aménagements extérieurs de quelques hectares.

Pour terminer, il convient de souligner que l'ensemble de notre sélection a été quelque peu contrainte par des questions d'accès à l'information. Certains projets pré-sélectionnés n'ont pas donné suite à nos demandes.

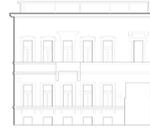
2.2 Les projets



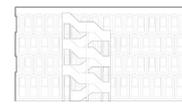
Maison des
Canaux



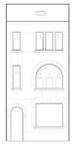
Grande Halle
Colombelle



Zinneke



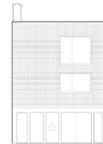
Takeda school



Warland



Clos Dupont



Maison
Vignette



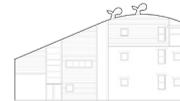
Rue
de
l'est



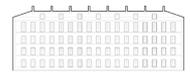
Dethy



Cohousing
De Schilders



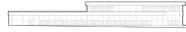
Bedzed



Caserne de
Reuilly



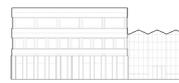
Clinic of
Emergis child &
youth



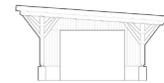
Circl' Pavillon



Mundo Madou



Biopartner 5



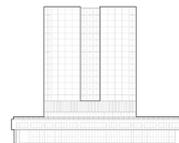
Déchèterie de
Kaysersberg



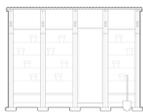
Botany
institute
Liège



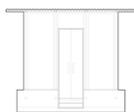
Bureau Pulse



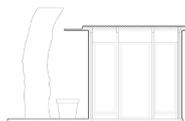
Multi



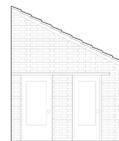
Green
house



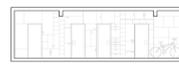
Circular
Pavilion



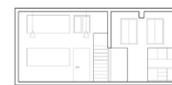
Tree
house



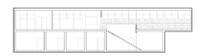
Bloc
sanitaire
Chiro



VLA
office



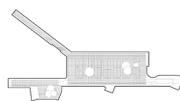
Local
Droits et
habitat



La Fabrique
Ressourcerie



Caserne de
Reuilly



Place
communale de
Molenbeek



Croeselaan



Cremerstraat



Caserne
Mellinet

2.3 Catégories de projets

De manière à améliorer la comparabilité entre les projets et afin d'affiner l'analyse des résultats des 32 projets, nous les avons regroupés en 5 catégories :

1. Transformations de bâtiments existants pour héberger des activités socio-culturelles [*Renovations for social and cultural facilities*].
2. Logements [*Housing*].
3. Bâtiments tertiaires [*Tertiary buildings*].
4. Micro projets et démonstrateurs [*Micro-projects and demonstrators*].
5. Aménagements extérieurs / espaces publics [*Outdoor spaces*].

Ces catégories ont été définies sur base de la sélection initiale des projets. Elles ont fait l'objet d'un commun accord au cours d'un atelier participatif regroupant plusieurs partenaires du projet. Après une présentation de chaque projet, les participant·e·s se sont appuyé·e·s sur différents facteurs pour rassembler les 32 projets. Les facteurs étaient les suivants :

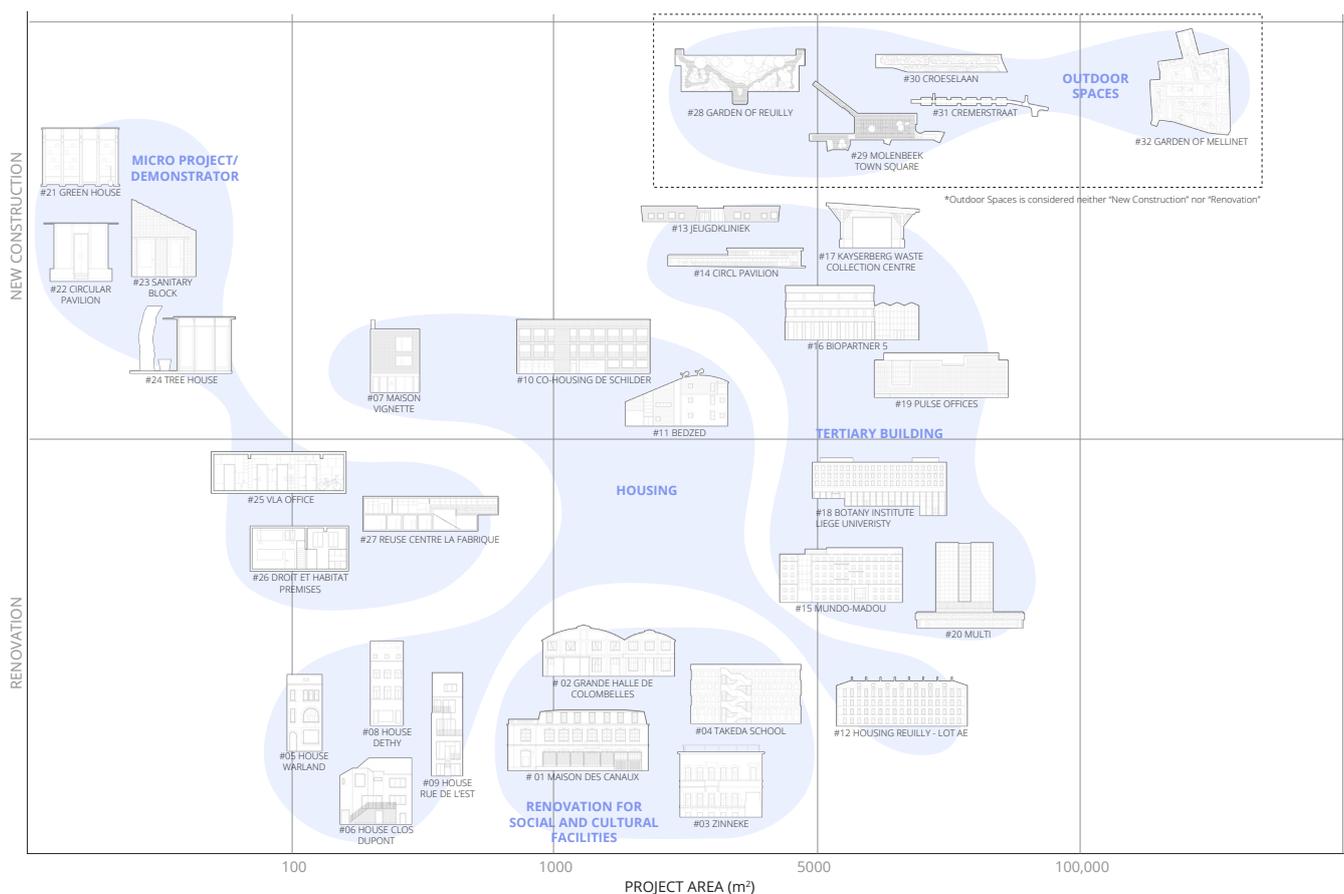
- Programme.
- Nature des travaux.
- Échelle des réalisations.
- Approches architecturales.

Certains de ces facteurs ont été déterminants pour certaines catégories et moins dans d'autres. Par exemple, la question de l'échelle des projets (approchées à travers leur surface de plancher) a été déterminante pour la catégorie n°1 (transformation de bâtiments existants pour héberger des activités socio-culturelles),

qui regroupe des interventions d'une échelle similaire, mais moins pour la catégorie n°2 (logements), où l'on retrouve aussi bien des petites maisons individuelles que des immeubles de logement collectif.

Ces catégories ne sont ni figées ni entièrement étanches. Elles sont cependant utiles pour procéder à l'analyse et l'interprétation des taux de réemploi effectivement atteints.

FCRBE CASE STUDY ANALYSIS



Classement des 32 projets selon leur surface et selon qu'il s'agisse de constructions neuves ou de rénovation. Les projets d'aménagement d'espaces extérieurs sont classés selon la surface mais pas selon le caractère neuf/rénové, qui n'est pas d'application pour ceux-ci.

3° RÉSULTATS

3.1 Tableau des taux de réemploi

Ce tableau (voir page suivante) reprend l'ensemble des résultats des taux de réemploi des 32 projets analysés. Les colonnes (verticales) correspondent aux projets. Les lignes (horizontales) correspondent à nos différents *layers*.

Les colonnes sont regroupées par catégorie et, au sein de chaque catégorie, les projets sont placés par ordre croissant de surface.

Nous avons utilisé un gradient de cinq couleurs pour mettre en évidence les taux de réemploi atteints :



L'application de ce code couleur permet de mettre en évidence certaines observations générales :

- Par exemple, il apparaît très clairement que les projets de la catégorie *Micro projets et démonstrateurs* atteignent des taux de réemploi élevés dans plusieurs *layers*.

Analyse a posteriori de 32 projets de construction et de rénovation

	Maison des Canaux	Grande Halle de Colombelles	Zinneke	Takeda school	House Warland	House Clos Dupont	House Vignette	House Dethy	House Rue de l'Est	Cohousing de Schilders	Housing BedZed	Housing Reuilly (Lot Ae)	Jeugdclinic	Circl Pavillon	Mundo-Madou
Cluster	Renovation for social and cultural facilities				Housing										
Project Surface (m²)	1.009	3.650	4.000	4.000	160	200	255	255	290	1.200	2.500	6.330	3.334	3.350	6.500
New construction							TRUE			TRUE	TRUE		TRUE	TRUE	
Layers with reuse	8	4	7	1	4	5	2	4	2	1	2	2	4	2	1
Project ID	#01	#02	#03	#04	#05	#06	#07	#08	#09	#10	#11	#12	#13	#14	#15
Structure															
Total mass layer (kg)	20.133	not calc.	178.130	not calc.	16.968	not calc.	not calc.	19.080	not calc.	not calc.	12.709.000	not calc.	301.674	9.308.260	not calc.
Reused mass layer (kg)	8.674	0	11.590	0	1.388	0	0	2.784	0	0	98.000	0	28.915	0	0
Reuse rate (%)	43,08%	0,00%	6,51%	0,00%	8,18%	0,00%	0,00%	14,59%	0,00%	0,00%	0,77%	0,00%	9,58%	0,00%	0,00%
Skin															
Total mass layer (kg)	1.505	18.721	23.296	not calc.	not calc.	11.325	36.883	26.157	15.966	160.414	2.517.000	not calc.	244.996	357.892	not calc.
Reused mass layer (kg)	300	0	4.526	0	0	7.595	5.412	585	5.056	89.238	0	0	19.402	0	0
Reuse rate (%)	19,94%	0,00%	19,43%	0,00%	0,00%	67,06%	14,67%	2,24%	31,66%	55,63%	0,00%	0,00%	7,92%	0,00%	0,00%
Space Plan															
Total mass layer (kg)	30.157	358.841	60.870	62.895	18.162	4.855	38.321	34.016	125.279	not calc.	1.852.000	1.343.958	62.020	1.466.998	128.746
Reused mass layer (kg)	15.468	3.744	12.770	16.540	3.095	405	3.207	2.183	2.355	0	182.000	25.686	833	63.123	31.342
Reuse rate (%)	51,29%	1,04%	20,98%	26,30%	17,04%	8,34%	8,37%	6,42%	1,88%	0,00%	9,83%	1,91%	1,34%	4,30%	24,34%
Service - HVAC															
Total mass layer (kg)	8.027	13.391	22.471	not calc.	2.800	2.262	not calc.	3.310	not calc.	not calc.	32.500	32.428	43.342	43.550	not calc.
Reused mass layer (kg)	61	6.952	1.990	0	825	82	0	336	0	0	0	8.500	0	0	0
Reuse rate (%)	0,76%	51,92%	8,86%	0,00%	29,46%	3,64%	0,00%	10,15%	0,00%	0,00%	0,00%	26,21%	0,00%	0,00%	0,00%
Rule of thumb used						TRUE		TRUE			TRUE		TRUE	TRUE	
Service - Elec															
Total mass layer (kg)	683	not calc.	16.207	not calc.	not calc.	not calc.	not calc.	1.018	not calc.	not calc.	10.000	not calc.	13.336	13.400	not calc.
Reused mass layer (kg)	129	0	207	0	0	0	0	0	0	0	0	0	312	0	0
Reuse rate (%)	18,91%	0,00%	1,28%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	2,34%	0,00%	0,00%
Rule of thumb used			TRUE					TRUE			TRUE		TRUE		
Service - Sanitary															
Total mass layer (kg)	248	3.702	4.424	not calc.	480	44	765	764	not calc.	not calc.	7.500	not calc.	10.002	10.050	not calc.
Reused mass layer (kg)	132	1.499	824	0	405	30	30	0	0	0	0	0	0	0	0
Reuse rate (%)	53,25%	40,49%	18,63%	0,00%	84,38%	67,77%	3,92%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Rule of thumb used								TRUE			TRUE		TRUE	TRUE	
Outdoor - Infrastructure															
Total mass layer (kg)	7.754	N/A	42.375	N/A	N/A	not calc.	not calc.	N/A	not calc.	not calc.	3.676.000	N/A	N/A	N/A	N/A
Reused mass layer (kg)	0		0			0	0		0	0	0				
Reuse rate (%)	0,00%		0,00%			0,00%	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%				
Outdoor - Surfaces															
Total mass layer (kg)	130.947	N/A	36.964	N/A	N/A	872	not calc.	N/A	not calc.	not calc.	1.038.000	N/A	N/A	112.646	N/A
Reused mass layer (kg)	130.947		6.370			773	0		0	0	3.000			97.410	
Reuse rate (%)	100,00%		17,23%			88,67%	0,00%		0,00%	0,00%	0,29%			86,47%	
Outdoor - Furnishings															
Total mass layer (kg)	2.317	N/A	N/A	N/A	N/A	not calc.	not calc.	N/A	not calc.	not calc.	not calc.	N/A	N/A	N/A	N/A
Reused mass layer (kg)	1.955					0	0		0	0	0				
Reuse rate (%)	84,39%					0,00%	0,00%		0,00%	0,00%	0,00%				
Total reuse rate (when available)															
Total mass of materials (kg)	201.771		384.737		38.410	19.358	75.970	84.345	141.245	160.414	21.842.000	1.376.386	675.369	11.312.795	128.746
Total mass of reused mater	157.666	12.195	38.277	16.540	5.713	8.885	8.649	5.888	7.410	89.238	283.000	34.186	49.462	160.533	31.342
Total reuse rate (%)	78,14%		9,95%		14,87%						1,30%		7,32%	1,42%	24,34%
Total mass of reused mater	156	3	10	4	36	44	34	23	26	74	113	5	15	48	5

Légende

- Catégorie 1 : Transformations de bâtiments existants pour héberger des activités socio - culturelles
- Catégorie 2 : Logements

Biopartner 5	Kaysersberg waste collection centre	Botany Institute Liège University	Pulse offices	Multi	Green House	Circular Pavilion	Sanitary block	Tree House	VLA office	Droit et habitat' premises	Reuse Centre La Fabrique	Garden of Reully	Molenbeek town square	Crosselaan	Cremerstraat	Garden of Mellinet
Tertiary building					Micro project / Demonstrator							Outdoor spaces				
6.827	7.535	8.600	33.588	45.120	7,7	7,7	18	24	100	135	204	4.820	6.300	13.599	12.000	130.000
TRUE	TRUE		TRUE		TRUE	TRUE	TRUE	TRUE				/	/	/	/	/
4	5	3	1	2	3	3	4	4	6	4	2	2	1	2	2	2
#16	#17	#18	#19	#20	#21	#22	#23	#24	#25	#26	#27	#28	#29	#30	#31	#32
4.595.763	1.673.287	not calc.	not calc.	not calc.	2.288	7.949	20.936	3.782	93	2.694	1.573	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
159.000	29.345	0	0	0	2.278	7.366	261	3.782	93	0	0					
3,46%	1,75%	0,00%	0,00%	0,00%	99,54%	92,67%	1,25%	100,00%	100,00%	0,00%	0,00%					
1.464.334	not calc.	512.509	not calc.	2.868.153	1.114	1.162	9.454	340	1.764	378	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
411.171	0	33.774	0	93.455	1.114	1.039	5.263	273	497	0						
28,08%	0,00%	6,59%	0,00%	3,26%	100,00%	89,40%	55,67%	80,41%	28,17%	0,00%						
2.769.893	64.832	not calc.	2.695.204	9.005.503	52	192	939	576	6.583	9.430	10.274	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
82.252	873	0	543.630	115.524	52	192	375	576	5.625	915	2.263					
2,97%	1,35%	0,00%	20,17%	1,28%	100,00%	100,00%	39,90%	100,00%	85,45%	9,70%	22,03%					
88.751	not calc.	not calc.	not calc.	not calc.	N/A	N/A	234	N/A	1.828	1.755	1.127	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0	0	0	0	0			0		528	79	0					
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			0,00%		28,88%	4,50%	0,00%					
TRUE							TRUE			TRUE						
27.308	not calc.	not calc.	not calc.	not calc.	N/A	N/A	72	N/A	400	540	739	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
0	0	0	0	0			0		40	36	0					
0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%			0,00%		10,00%	6,74%	0,00%					
TRUE							TRUE			TRUE						
3.781	564	not calc.	not calc.	not calc.	N/A	N/A	177	51	300	239	165	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
285	143	0	0	0			167	39	5	165	53					
7,54%	25,35%	0,00%	0,00%	0,00%			94,42%	77,17%	1,67%	69,19%	32,15%					
N/A	not calc.	not calc.	N/A	N/A	N/A	N/A	173	N/A	N/A	N/A	N/A	not calc.	not calc.	6.894.657	not calc.	not calc.
	0	0					0					0	0	1.505.000	0	0
	0,00%	0,00%					0,00%					0,00%	0,00%	21,83%	0,00%	0,00%
N/A	1.447.010	65.590	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1.472.921	2.359.436	2.384.387	15.142.577	14.019.960
	10.340	14.431										543.840	2.254.414	115.000	3.851.037	2.477.534
	0,71%	22,00%										36,92%	95,55%	4,82%	25,43%	17,67%
N/A	7.591	55	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	256.976	not calc.	N/A	11.273	296.667
	706	12										1.000	0		1.260	229.730
	9,30%	22,20%										0,39%	0,00%		11,17%	77,44%
8.949.831	3.185.693	578.155		11.873.657	3.454	9.303	31.985	4.860	10.968	15.036	13.878	1.472.921	2.359.436	9.279.044		
652.708	41.407	48.217	543.630	208.978	3.444	8.597	6.066	4.781	6.695	1.196	2.316	544.840	2.254.414	1.620.000	3.852.297	2.707.264
7,29%					99,70%	92,41%	18,97%	98,39%	61,04%	7,95%	16,69%			17,46%		
96	5	6	16	5	447	1116	337	199	67	9	11	113	358	119	321	21

- Catégorie 3 : Bâtiments tertiaires
- Catégorie 4 : Micro projets et démonstrateurs
- Catégorie 5 : Aménagements extérieurs / espaces publics

- Ou encore que la catégorie *Aménagements extérieurs / espaces publics* n'est concernée que par 3 *layers*.
- On voit aussi, lorsqu'on regarde les projets colonne par colonne, que certains ont une approche plurielle, atteignant des taux de réemploi dans la plupart des *layers* concernés (c'est notamment le cas des projets de la première catégorie) tandis que d'autres concentrent leurs efforts de réemploi sur un nombre plus restreint de *layers* (une stratégie que l'on retrouve notamment dans les projets de logements et de bâtiments tertiaires).

 Une nuance importante doit être prise en compte dans la lecture de ce tableau :

- Les cases laissées intégralement vides correspondent à des *layers* qui, dans un projet donné, n'ont pas été concernés par les travaux. Par exemple, des travaux de rénovation d'un bâtiment existant qui ne sont pas intervenus du tout sur la structure.
- Les cases indiquant explicitement 0 % correspondent à des situations où les travaux réalisés ont bel et bien concerné un *layer* donné bien qu'il n'y ait pas eu pour autant de réemploi au sein de celui-ci.

3.2 Analyse des résultats

La présente section détaille les taux atteints dans les différents projets.

Quelques remarques sur l'analyse des taux de réemploi par catégorie et par *layer*

En première approche, il est important de noter que le taux de réemploi dépend de la quantité totale de matériaux utilisés pour les travaux. Plus la masse totale sera importante, plus la masse de matériaux issus du réemploi devra être significative pour que le taux soit élevé. Il est clair que les quantités en valeur absolue ont

une incidence sur les taux atteints. Les projets analysés présentent des ordres de grandeur parfois très éloignés.

Le taux de réemploi dépend également de la masse des éléments en jeu. Pour un même *layer*, l'usage de matériaux pondéreux conduit logiquement à un taux plus élevé. Ces taux ne sont donc pas toujours représentatifs des efforts fournis mais sont un indicateur parmi d'autres à étudier.



Quelques indications quant à l'analyse proprement dite :

- Lorsque la quantité de matériaux réemployés par *layer* était trop faible (de l'ordre de quelques kilogrammes) et que le taux correspondant était également trop faible, il n'a pas été comptabilisé dans l'analyse. Nous avons alors considéré le réemploi dans le *layer* concerné comme étant marginal.
- Lorsque les taux atteints au sein d'une catégorie sont trop hétérogènes, indiquer un taux moyen ou médian n'est pas pertinent. Nous avons alors choisi de n'indiquer que les valeurs minimum et maximum. De même, il n'y a pas de sens à exprimer le taux moyen lorsque l'échantillon considéré ne contient que deux projets.
- Enfin, l'expression des taux de réemploi minimum et maximum par *layer* inclut uniquement des projets pour lesquels il y a eu du réemploi (un taux de 0% n'est donc pas pris en compte comme taux de réemploi minimum).

Dans les chapitres qui suivent, nous procédons à l'analyse des taux atteints pour chaque *layer* au sein de chaque catégorie de projet.

Catégorie 1 : transformations de bâtiments existants pour héberger des activités socio-culturelles

Ce sous-groupe comporte quatre projets¹ dont les surfaces vont de 1.000 à 4.000 m². Il concerne uniquement des projets de rénovation dans lesquels les efforts de réemploi ont été couplés à des efforts significatifs de préservation de bâtiments existants.



Structure

Dans ces projets, le *layer* structure est généralement absent, ou négligeable. De fait, ces projets ont tous choisi de s'intégrer dans des structures bâties existantes, qui ont été très peu modifiées. Certains projets présentent malgré tout un flux entrant de matériaux destinés à des travaux structurels, mais ceux-ci sont généralement mineurs en termes de quantité : il s'agit d'ajouts relativement légers ou de renforcements ponctuels (comme la construction d'une terrasse couverte dans le cas de la Maison des Canaux, par exemple, dont la réalisation fait la part belle à de l'acier de réemploi, atteignant ainsi un taux de réemploi de 43 %).



Skin

Opérations concernées	2 projets sur 4
Taux min	19,43 %
Taux max	19,94 %
Taux moyen	19,68 %

Les trois projets ont des taux de réemploi dans les mêmes ordres de grandeur, le taux de réemploi moyen peut être considéré comme cohérent, tout en tenant compte de la taille réduite de l'échantillon.

¹-Les projets concernés ici sont : *Maison des canaux, Grande Halle des colombelles, Zinneke, Takeda School*



Space plan :

Opérations concernées	4 projets sur 4
Taux min	1,04 %
Taux max	51,29 %
Taux moyen	24,90 %

Les projets Takeda School et Zinneke ont tous deux un taux de réemploi autour de 23 %, qui représente environ 15 tonnes de matériaux chacun, pour une surface de 4.000 m². Le taux exprimé ici peut être considéré comme cohérent (tout en tenant compte de la taille réduite de l'échantillon).



Service HVAC

Opérations concernées	2 projets sur 4
Taux min	8,86 %
Taux max	51,9 %

Exprimer un taux moyen de ce *layer* dans cette catégorie de projet n'est pas pertinent car il n'y a que deux projets et que les quantités sont très différentes :

- 52 unités (correspondant à 6,9 t) de radiateurs issus du réemploi sur 13,4 t pour le projet de la Grande Halle Colombelle, qui donnent un taux à 52 %
- 20 radiateurs et 1 bloc de ventilation, correspondant à 1,9 t sur 22,5 t pour le projet Zinneke, qui donnent un taux de réemploi de 8,9 %.



Service - Sanitary

Opérations concernées	3 projets sur 4
Taux min	18,6 %
Taux max	53,25 %
Taux moyen	37,45 %

Pour ce *layer*, les taux de réemploi ne sont pas tellement représentatifs de l'effort fourni pour chaque projet. En effet, en réemployant 132 kg (sur 248 kg), la Maison des Canaux a le plus fort taux de réemploi avec 53,25 % alors que le projet Zinneke obtient 40 % en réemployant 1,5t (sur 3,7t). Le taux est fortement dépendant de la quantité de matière totale réintégrée dans ce *layer* – lequel dépend fortement des installations en place et de la possibilité de maintenir celles-ci ou, au contraire, de la nécessité de devoir les remplacer.



Outdoor - Surfaces

Opérations concernées	2 projets sur 4
Taux min	17,2 %
Taux max	100 %
Taux moyen	58,62 %

Seulement deux projets ont eu recours à des matériaux issus du réemploi pour l'aménagement des surfaces extérieures. De plus, les taux présentent des écarts très importants. Le taux moyen exprimé ici est donc peu représentatif.

Il est à noter que le projet Maison des canaux a utilisé du bois issu de fenêtres et porte, des pierres et des pavés entièrement issus du réemploi et assemblés à sec pour réaliser le revêtement extérieur, ce qui leur permet d'atteindre un taux de 100 %.



Outdoor furnishings

Opérations concernées	1 projets sur 4
Taux	84,39 %

Seul l'un des quatre projets (la Maison des Canaux) impliquait la production de mobilier fixe d'extérieur. Le taux indiqué ici ne peut donc pas être considéré comme représentatif.

Catégorie 2 : logements

Cette catégorie regroupe huit projets¹ de surface variables : six d'entre eux une surface comprise 100 et 300 m², deux ont une surface comprise entre 1.000 et 2.500 m² et un a une surface de plus de 6.000 m². On retrouve dans cette catégorie des projets de rénovation aussi bien que des constructions neuves.



Structure

Opérations concernées	3 projets sur 8
Taux min	0,77 %
Taux max	14,59 %
Taux moyen	-

Les taux exprimés ici cachent des quantités absolues très variables. Ainsi, le taux le plus bas (0,77 %) correspond au projet qui a réemployé la plus grande quantité de matériaux structurels (98 t de profilés en acier, pour Housing Bedzed). À titre de comparaison, les deux autres projets (House Dethy et House Warland) ont réutilisé respectivement 7 t et 17 t de matériaux structurels, atteignant des taux de réemploi de 8 et 15 %. Il faut noter que ces deux projets concernent la rénovation de maisons unifamiliales tandis que Bedzed est une construction neuve de logements collectifs.

¹- Les projets concernés ici sont : Warland, Clos Dupont, Maison Vignette, Rue de l'Est, Dethy, Cohousing De Schilders, Bedzed, Caserne de Reuilly

En tout état de cause, au vu du faible échantillon, il n'est pas possible de déduire ici de taux moyen indicatif.



Skin

Opérations concernées	5 projets sur 8
Taux min	2,24 %
Taux max	67,06 %
Taux moyen	23,02 %

Les taux de réemploi atteints au sein de ce *layer* dépendent assez directement des choix de matériaux. On voit ainsi que les trois projets qui ont atteint les plus haut taux (32 %, 56 % et 67 %) dans ce *layer* l'ont fait en réemployant de la brique de parement – un élément relativement pondéreux comparé à d'autres solutions (par exemple, le bois).

Par exemple, le projet Cohousing de Schilder a réemployé 89 t de briques (sur les 160 t de matériaux constituant le *layer skin*), lui permettant d'atteindre un taux de réemploi de 55,63 %. Le projet Clos Dupont a également réutilisé de la brique à hauteur de 7 t et le projet Rue de l'Est à hauteur de 5t, atteignant des taux de réemploi de respectivement 67,06 et 31,66 %.

Il est difficile de généraliser le taux moyen atteint ici pour toutes les solutions constructives de façade. Néanmoins, on peut inférer que le choix de la brique de récupération permet généralement d'atteindre des taux importants, supérieurs à 20 %.



Space plan

Opérations concernées	7 projets sur 8
Taux min	1,88 %
Taux max	17,04 %
Taux moyen	7,3 %

Le projet ayant réutilisé la masse la plus importante de matériaux de réemploi est le projet BedZed, avec 182 t de bois réutilisé pour réaliser l'ossature des murs intérieurs. Compte tenu de la masse totale du *layer space plan* dans ce projet (1.852 t), et compte tenu du caractère comparativement plus léger du bois, le taux atteint est de 10 %.

Dans les autres projets, les matériaux réemployés les plus récurrents sont le carrelage, les revêtements muraux et les plafonds, ainsi que les menuiseries intérieures (portes, armoires de meubles encastrés...). Le taux moyen exprimé ici (entre 5 et 10 %) semble plausible et peut être considéré comme représentatif.

Service - HVAC



Opérations concernées	4 projets sur 8
Taux min	3,64 %
Taux max	29,46 %
Taux moyen	-

Les matériaux qui contribuent au taux de réemploi dans ce *layer* sont principalement les radiateurs (en fonte, en acier et en aluminium). Le taux varie fortement selon le nombre de radiateurs, leur composition (la fonte ne peut pas être comparée à l'aluminium !) et le fait que les projets concernés aient ou non pu s'appuyer sur des installations sanitaires existantes.

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.



Service – Sanitary

Opérations concernées	3 projets sur 8
Taux min	3,92 %
Taux max	84,38 %
Taux moyen	-

Dans ce *layer* également, on constate que le taux de réemploi varie fortement selon qu'il ait été nécessaire de (re)construire l'ensemble de l'installation sanitaire ou, au contraire, que les travaux portaient uniquement sur le remplacement d'équipements ponctuels (lavabos, baignoirs, cuvettes de WC...).

Par exemple, dans la Maison Vignette et dans la maison Clos Dupont, ce sont à chaque fois 30 kg de matériaux qui ont été réemployés. Dans l'un – une construction neuve – cela donne un taux de 4 %, dans l'autre – une rénovation – un taux de 68 % !

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.

Outdoor - Surfaces :



Opérations concernées	2 projets sur 8
Taux min	0,29 %
Taux max	87,67 %

Seuls deux projets dans cette catégorie ont réemployé des éléments de surfaces extérieurs. De plus, l'aménagement des abords représente des surfaces (et, par extension, des quantités de matières) très différentes d'un projet à l'autre.

Pour le projet Bedzed, ce *layer* représente plus de 1.000 t de matériaux, au sein desquelles 3 t de bordures en granit ont été réemployées (menant à un taux de 0,29 %). Pour le projet Clos

Dupont, on parle d'une petite terrasse extérieure, impliquant un peu moins de 800 kg de matière, dont 700 kg de pavés en béton réemployés (menant à un taux particulièrement élevé de 87,67 %).

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.

Catégorie 3 : bâtiments tertiaires

Cette catégorie regroupe huit projets¹. Six d'entre eux ont une surface comprise entre 3.000 et 8.000 m² et deux sont plus importants, avec une surface comprise entre 33.000 et 45.000 m². Les travaux étudiés concernent 5 constructions neuves et 3 projets de rénovation de bâtiments existants. Cette catégorie regroupe divers programmes, avec une majorité d'espaces de bureaux (éventuellement couplés à d'autres fonctions comme des salles de conférence, des commerces, etc.) mais aussi un centre de collecte des déchets et une clinique.

Structure :



Opérations concernées	3 projets sur 8
Taux min	1,75 %
Taux max	9,58 %
Taux moyen	4,93 %

Les projets concernés par le *layer* structure sont tous des constructions neuves. Pour une large majorité, les éléments réemployés concernent des ossatures en acier ou en bois, mais on retrouve également un cas de réemploi de murs de soutènement en béton.

En valeur absolue et comparativement à d'autres *layers*, les masses concernées par le réemploi sont assez considérables : entre 30 et 160 t. Elles représentent toutefois des taux de réemploi

1- Les projets concernés ici sont : *Clinics of emergis child & youth, Circl' pavilion, Mundo Madou, Biopartner 5, Déchèterie de Kaysersberg, Botany Institute Liège, Bureaux Pulse, Multi*

comparativement moins élevés que dans d'autres *layers* en raison de la masse totale des flux de matériaux nécessaires au *layer* structure.

Malgré un échantillon relativement restreint, on peut considérer que le taux moyen exprimé ici est une indication utile d'une cible plausible pour des projets neufs qui font le choix de réemployer des éléments structurels.

Skin :



Opérations concernées	4 projets sur 8
Taux min	3,26 %
Taux max	28,08 %
Taux moyen	14,49 %

Les deux taux de réemploi les plus élevés (aux alentours de 25 %) correspondent à des projets de construction neuve. Les matériaux réutilisés et réemployés sont multiples et très variés allant du réemploi de fenêtres, aux lames de terrasses, au dallage en pierre et aux gravats réutilisés dans des parois en gabion.

Malgré un échantillon relativement restreint, on peut considérer que le taux moyen exprimé ici est une indication utile d'une cible plausible pour des projets qui font le choix de réemployer des éléments d'enveloppe.

Space plan :



Opérations concernées	7 projets sur 8
Taux min	1,28 %
Taux max	24,34 %
Taux moyen	7,81 %

Les projets d'aménagement de bureaux Mundo Madou (rénovation) et Pulse (construction neuve) ont les plus hauts taux de réemploi dans ce *layer* (autour de 20 %), qui est d'ailleurs le seul qui intègre du réemploi. Les autres projets oscillent entre 0,25 % et 4,3 %.

Les matériaux réemployés dans ce flux sont très divers : revêtements de sols, parements muraux, matériaux d'isolation, menuiseries, cloisons, mains courantes, etc.

Le projet Mundo Madou à lui seul a par exemple réemployé pas moins de 11 types de matériaux différents, représentant 24,34 % de la masse totale de ce *layer*.

Malgré des écarts importants entre les taux atteints au sein des différents projets analysés, on peut considérer que le taux moyen exprimé ici constitue une cible indicative utile pour des projets similaires choisissant de réemployer des matériaux pour les finitions intérieures. L'analyse réalisée ici montre qu'il existe une vaste gamme de possibilités pour atteindre des taux de réemploi au sein de ce *layer*.



Service – Electricity :

Opérations concernées	1 projet sur 8
Taux	2,34 %

Le projet de construction de la clinique pour jeunes est le seul de cette catégorie à avoir réemployé des équipements électriques : luminaires, chemin de câble, composants électriques divers, alarmes et détecteurs.

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.



Service – Sanitary :

Opérations concernées	2 projets sur 8
Taux min	7,54 %
Taux max	25,35 %

Seulement deux projets ont réemployé des équipements sanitaires (Biopartner 5 et Kaysersberg). Il s'agit de toilettes dans un cas et d'un évier dans l'autre.

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.



Outdoor - Surfaces :

Opérations concernées	3 projets sur 8
Taux min	0,71 %
Taux max	86,47 %
Taux moyen	-

Les matériaux réemployés dans ce *layer* sont des dallages en béton et en asphalte. On constate des écarts très importants entre les différents projets, qui ont principalement à voir avec les surfaces des abords et l'échelle de ceux-ci au sein des projets.

Sur base des données disponibles, il n'est pas possible d'exprimer un taux indicatif pertinent.



Outdoor - Furnishings :

Opérations concernées	2 projets sur 8
Taux min	9,30 %
Taux max	22,20 %

Les taux mesurés ici ne sont pas suffisants pour inférer des taux indicatifs pertinents. Non seulement l'échantillon est trop restreint mais on constate également des ordres de grandeur trop différents entre les projets.

Catégorie 4 : micro-projets et démonstrateurs

Cette catégorie contient sept projets¹ qui ont comme point commun d'être de petite taille et de s'être donné comme objectif de pousser les stratégies de réemploi au maximum. On y trouve cependant deux cas de figure :

- Quatre d'entre eux (le bloc sanitaire "Chiro", les aménagements des bureaux de VLA et de Droit & Habitat ainsi que l'aménagement du centre de récupération "La Fabrique") opèrent dans des contextes assez conventionnels.
- Les trois autres sont plus proches d'une forme de micro-architecture éludant certaines contraintes telles que la pérennité dans le temps (structures temporaires) ou encore l'accueil de certaines fonctions (pas de sanitaires, pas d'installation de chauffage, etc.)

En tout état de cause, la plupart de ces projets atteignent des taux de réemploi fort élevés, préfigurant ainsi des stratégies amenées peut-être à trouver leur place dans les pratiques plus conventionnelles de la construction.



Structure :

Opérations concernées	5 projets sur 7
Taux min	1,25 %
Taux max	100 %
Taux moyen	78,69 %

Parmi les cinq projets impliqués, ce sont entre 93 kg et 5,2 t de matériaux structurels qui ont été réemployés. En comparaison avec les quantités impliquées dans ce *layer* dans les autres catégories de projet, ces chiffres sont très peu élevés. Le taux moyen indiqué ici n'est pas représentatif.

¹- Les projets concernés ici sont : *Green House, Circular Pavilion, Tree House, Bloc Sanitaire Chiro, VLA Office, Local Droits et Habitat, La Fabrique Ressourcerie*



Skin :

Opérations concernées	5 projets sur 7
Taux min	28,17 %
Taux max	100 %
Taux moyen	70,73 %

Les matériaux réemployés dans le *layer* sont principalement des panneaux de contreplaqué ou d'isolation rigide, des menuiseries extérieures et de la tôle de toiture.

Le taux moyen indiqué ici n'est pas représentatif.



Space plan :

Opérations concernées	7 projets sur 7
Taux min	9,70 %
Taux max	100 %
Taux moyen	65,30 %

Tous les projets ont réemployé des matériaux dans le *layer* space plan, avec des quantités allant de 50 kg à 5,6 t. Les matériaux sont variés (revêtements de sols, muraux, cloisons vitrées, armoires encastrées et menuiseries intérieures) et, dans les projets plus pérennes, assez représentatifs de ce qu'on trouve dans les autres catégories.

En raison des projets plus spécifiques contenus dans l'échantillon, le taux moyen indiqué ici n'est pas représentatif.



Service - HVAC :

Opérations concernées	2 projets sur 7
Taux min	4,50 %
Taux max	28,88 %

Le réemploi de matériaux se concentre ici uniquement sur des radiateurs en acier et en fonte.



Service - Electricity :

Opérations concernées	2 projets sur 7
Taux min	6,74 %
Taux max	10 %

Un tableau électrique, des spots encastrés et des tubes LED ont été réemployés dans les deux projets concernés par ce *layer*.



Service - Sanitary :

Opérations concernées	5 projets sur 7
Taux min	1,67 %
Taux max	94,42 %
Taux moyen	54,92 %

Des éviers, des toilettes, des portes serviettes et papier, des réservoirs d'eau, robinets et barre d'appuis ont été réemployés dans les différents projets. Malgré l'échantillon plus conséquent que pour les autres *layers* de cette catégories, les écarts importants entre les taux min et max font que le taux moyen indiqué ici n'est pas représentatif.

Catégorie 5 : aménagements extérieurs et espaces publics

Cette catégorie regroupe 5 projets¹ d'aménagement d'espaces extérieurs, impliquant des travaux de voirie mais aussi, pour certains projets, d'aménagements paysagers. Les projets sont de taille variée, allant d'une surface de 5.000 m² à plus de 130.000 m².

Par définition, les projets repris sous cette catégorie concernent uniquement les trois *layers* extérieurs.



Outdoor - Infrastructure :

Opérations concernées	1 projet sur 5
Taux	21,83 %

Seul un projet sur cinq a réemployé des matériaux d'infrastructure. Il s'agit en l'occurrence d'un réemploi de granulats dans le projet Croeselaan, représentant tout de même une masse totale de 1.500 t (un cinquième de la masse de ce *layer*). Comme il s'agit de la seule occurrence, non seulement dans cette catégorie mais aussi dans l'ensemble des projets concernés par des aménagements extérieurs, ce taux ne peut pas être considéré comme représentatif.



Outdoor - Surfaces :

Opérations concernées	5 projets sur 5
Taux min	4,82 %
Taux max	95,55 %
Taux moyen	36,08 %

L'ensemble des projets ont réemployé des matériaux pour l'aménagement des surfaces extérieures. Il s'agit principalement

¹ 1- Les projets concernés ici sont : *Caserne de Reully, Place Communale de Molenbeek, Croeselaan, Cremerstraat, Caserne de Mellinet.*

de dallage en pierres, en béton et en briques. Les quantités en jeu varient entre 115 t et 2.500 t.

En dépit des écarts importants, on peut considérer que le taux moyen exprimé ici est une cible plausible pour des projets d'aménagement extérieurs qui se donnent comme objectif de réemployer des revêtements de sols extérieurs. On constate en effet une certaine homogénéité dans les matériaux mobilisés.



Outdoor - Furnishings :

Opérations concernées	3 projets sur 5
Taux min	0,39 %
Taux max	77,44 %
Taux moyen	29,67 %

Les matériaux réemployés dans ce *layer* sont des porte-vélos, des poteaux d'éclairage et un portail. En raison de cette grande diversité, des écarts importants entre les taux min et max et du faible échantillon, le taux moyen exprimé ici n'est pas représentatif.

Peut-on extrapoler des taux indicatifs généraux ?

L'une des questions qui se pose à travers l'analyse de ces taux de réemploi est de savoir s'il est possible d'en déduire des taux indicatifs susceptibles d'être appliqués à large échelle pour une vaste gamme de projets.

La réponse à cette question doit être nuancée.

- ☞ En première instance, l'analyse menée ici tend à montrer qu'il est difficile de généraliser des taux indicatifs pour toutes catégories de projets confondues (voir ci-dessous, [chapitre 4](#), pour les limites méthodologiques). L'analyse confirme au contraire à quel point les pratiques de réemploi sont éminemment contextuelles et combien les taux effectivement atteints dépendent du type d'opération (construction neuve ou rénovation), des quantités de matériaux en jeu, des programmes et, plus largement, des choix architecturaux posés par les concepteurs et leurs commanditaires.

Cependant, dans certains *layers* et dans certaines catégories de projets, on voit émerger des données qui présentent une certaine plausibilité (malgré tous les biais évoqués au fil de l'analyse et discutés ci-dessous au [chapitre 4](#)).

Le tableau ci-après présente les données que l'on pourrait retenir comme cibles indicatives dans des cas de figure proches des projets analysés. Les données indiquées entre parenthèses se réfèrent à des hypothèses qui sont discutées ci-après.

	Cat 1 Transformations de bâtiments existants pour héberger des activités socio-culturelles	Cat 2 Logements	Cat 3 Bâtiments tertiaires	Cat 4 Micro-projets et démonstrateurs	Cat 5 Aménagements extérieurs et espaces publics	Cible
Structure	/	/	(5 %)	/	/	[1 - 5 %]
Skin	15 %	(23 %)	15 %	/	/	[5 - 15 %]
Space Plan	23 %	7 %	8 %	(65 %)	/	[10 - 25 %]
Service – HVAC	/	/	/	/	/	
Service – Electricity	/	/	/	/	/	
Services – Sanitary	/	/	/	/	/	
Outdoor – Infrastructure	/	/	/	/	/	
Outdoor – Surfaces	(52 %)	(50 %)	(50 %)	/	36 %	[30 - 50 %]
Outdoor – Furnishings	/	/	/	/	/	



Structure

Dans l'ensemble, le réemploi d'éléments structurels reste relativement peu fréquent. Ce n'est toutefois plus une *terra incognita* entièrement inexplorée. Que ce soit au sein de notre échantillon de 32 projets mais aussi au-delà, on voit de plus en plus de projets suivre cette voie et des réalisations impressionnantes voient régulièrement le jour.

Cette tendance s'accompagne d'une structuration progressive des méthodes de travail et des protocoles de gestion des risques, ouvrant la voie à une possible généralisation de ces pratiques¹.

1- Voilà à ce propos le travail mené autour de la question assurances pour le réemploi des matériaux, mené dans le cadre du projet FCRBE. <https://vb.nweurope.eu/fcrbe>

Il ressort de notre analyse que le réemploi d'éléments structurels implique souvent des quantités qui, en valeur absolue, sont conséquentes (et, partant, des réductions de l'impact environnemental qui le sont également).

Le *layer* structurel tend cependant aussi à être très pondéreux (en particulier pour les projets de construction neuves). Dès lors, les taux de réemploi restent relativement bas – entre 1 et 5 % en masse s'il fallait donner une tranche estimative.

La différence entre constructions neuves et rénovations joue ici un rôle important. La plupart des projets de rénovation conservent les structures existantes et parviennent ainsi à réduire drastiquement les besoins en matériaux.

- ➡ À ce jour, il serait sans doute prématuré d'obliger le réemploi systématique d'éléments structurels. C'est toutefois une voie d'exemplarité qui mérite d'être encouragée et qui gagne à être envisagée main dans la main avec des efforts de préservation de l'existant.



Skin

Les travaux portant sur l'enveloppe des bâtiments semblent se prêter relativement bien au réemploi de matériaux. Le marché existant offre diverses solutions à cet égard, notamment des bardages en bois, des parements en brique et même des fenêtres. Plusieurs projets au sein de notre échantillon ont également réemployé des matériaux d'isolation bien que ceux-ci soient relativement peu fréquents sur le marché du réemploi.

Ce *layer* est particulièrement sujet aux biais inhérents au choix de la masse comme unité : mise à part la brique, on y trouve beaucoup d'éléments plutôt légers – bien que leur réemploi ne soit pas intrinsèquement moins intéressant que celui de la brique (bois, isolants, etc.). C'est un aspect dont il convient de tenir compte dans la fixation d'un éventuel taux de réemploi.

- ➡ Dans le contexte des efforts de rénovation énergétique, beaucoup de travaux à venir vont concerner l'enveloppe des bâtiments. Il

est intéressant d'encourager la mise en œuvre de matériaux de réemploi lorsque le contexte le permet. Comme indiqué, la fixation d'un seuil indicatif dépend fortement de la solution constructive envisagée. À titre indicatif, une fourchette comprise entre 5 et 15 % (en masse) semble atteignable dès lors que le projet se prête à l'application d'un bardage en bois ou d'un parement en briques sur une partie conséquente de la façade. Le réemploi de vitrages – lorsqu'il est possible – contribue également à atteindre (voire à dépasser) cette cible.



Space plan

Sans surprise, le *layer space plan* est celui que l'on retrouve dans le plus grand nombre de projets. C'est aussi celui qui mobilise la plus grande diversité de matériaux réemployés.

-  C'est également un *layer* relativement peu concerné par la différence entre constructions neuves et projets de rénovations. Dans la plupart des cas, les travaux touchent en effet aux finitions intérieures – même si, dans le cas d'une rénovation, il est bien sûr possible d'explorer la piste de conserver une partie significative des finitions d'origine de façon à minimiser le flux de matériaux nécessaires aux travaux.

Notre analyse permet de déduire des taux indicatifs de réemploi au sein du *layer space plan* compris dans une fourchette allant de 10 à 25 % (en masse). Ceci ne signifie pas que tous les projets de construction en Europe du Nord Ouest pourraient atteindre cette cible du jour au lendemain. Il est clair qu'une généralisation de cet objectif entraînerait des impacts sur le marché du réemploi qui sont impossibles à prédire. En revanche, il n'est pas absurde de se fixer sur ces ordres de grandeur (et même plus, dans certains cas particuliers) comme une cible raisonnable pour des projets correspondant à ceux analysés ici et qui souhaitent se donner des objectifs de réemploi.



Services

Les trois *layers* touchant aux équipements techniques sont plus épineux. Les données collectées ici ne permettent pas d'établir des

taux indicatifs pertinents. On peut cependant pointer plusieurs constats intéressants.

Dans notre échantillon, le réemploi des équipements techniques concerne principalement des éléments visibles (cuvettes de WC, lavabos, radiateurs, etc.) et, dans une moindre mesure, certaines machines (chauffe-eau, groupe de ventilation). Les éléments "cachés" de ces installations (tuyaux, conduits, etc.) ne sont quasiment jamais réemployés dans notre échantillon de projets.

- ☞ Ceci induit une très forte différence entre des projets de rénovation, qui peuvent se permettre de garder une partie des installations existantes, et ceux qui doivent tout installer (ou ré-installer) à neuf.

La quantification des flux de matériaux relatifs aux installations techniques n'est pas simple. C'est un domaine dans lequel il est compliqué de trouver des données détaillées. Cela étant, le réemploi des équipements techniques est un sujet qui fait aujourd'hui l'objet de plusieurs recherches, suggérant une possible généralisation de ces pratiques dans le futur¹.

- ☞ En l'état, les projets analysés démontrent que le réemploi de différents équipements techniques relativement simple est possible et mérite d'être encouragé. Des incitants basés sur autre chose que des taux de réemploi (en masse) seraient plus adéquats (par exemple : objectifs qualitatifs, objectifs exprimés à la pièce, etc.).



Outdoor – Infrastructures

Les projets analysés ici semblent indiquer que le réemploi de couches infrastructurelles dans des travaux de voirie et d'aménagements extérieurs reste très peu courant. D'une certaine façon, cette pratique tend à glisser vers la problématique de la

1- Cf. par exemple Loreau, S., Stephan, A., Cooper, D. R., & Maerckx, A. (2022). "Assessing material and embodied flows related to building services in office buildings — the case of Brussels, Belgium". *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1122(1), 012030. And Loreau, S., Stephan, A., Cooper, D., & Maerckx, A.-L. (2022, 5-7 Oct 2022). *Identifying Reuse Pathways for Building Systems using Physical Reliability and Technological Performance Metrics — the Case of Chillers and their Components*. Paper presented at the International Building Decarbonization Conference 2022, Athens, Greece.

gestion des sols – un sujet crucial mais passablement différent de celui abordé ici.



Outdoor – Surfaces

Les données varient beaucoup selon l'ampleur des projets. On trouve en effet des petites interventions d'aménagement des abords à une échelle quasi domestique à côté de travaux de voirie nettement plus conséquents.

On constate cependant une certaine congruence dans les données collectées ainsi que dans les matériaux réemployés : pavés en pierre naturelle, pavés de béton et pavés en terre cuite. Ce sont des matériaux relativement courants sur le marché du réemploi et pour lesquels il existe des fournisseurs capables de livrer des quantités importantes. Ce sont également des matériaux qui se prêtent bien au réemploi.



Pour toutes ces raisons, il n'est pas exagéré de formuler des taux de réemploi indicatifs compris dans une fourchette de 30 à 50 % (en masse). Selon les spécificités contextuelles, cette cible est bien sûr sujette à des révisions à la hausse (certains projets sont parvenus à atteindre des taux de plus de 90 %) ou à la baisse (si le contexte pose des contraintes spécifiques).



Outdoor – Furnishings

Sur base des données collectées à travers cette analyse, il n'est pas possible d'établir des taux indicatifs de réemploi. Les projets analysés montrent toutefois que c'est un type d'application qui peut se prêter admirablement au réemploi. Si des objectifs chiffrés devaient être établis, il faudrait s'appuyer avant tout sur une étude contextuelle.

3.3 Évaluation des bénéfices environnementaux

Dans le cadre des 32 projets de construction et de rénovation étudiés, notre analyse est intervenue *a posteriori*. Nous ne disposons donc pas toujours de toutes les informations quant à la provenance exacte des matériaux réemployés, à leur âge ou à la démarche complète qui a permis d'aboutir à leur réemploi.

☞ Dans ce contexte, pour mesurer le bénéfice environnemental du réemploi, il nous a semblé que l'approche la plus pertinente était de mesurer l'impact économisé par rapport au recours à des matériaux neufs. Cette approche ne tient donc pas compte de la précédente vie du matériau.

D'après les étapes du cycle de vie des matériaux telles qu'établies dans la norme EN 15804, on peut considérer que le réemploi d'un matériau dans un nouvel ouvrage constructif permet d'éviter les impacts inhérents aux phases A1 à A3 (c'est-à-dire les phases portants sur la production) du cycle de vie des éléments de construction.

Afin d'évaluer ces valeurs, nous nous sommes appuyés sur des valeurs de référence.

☞ En l'occurrence, l'analyse proposée ici s'appuie sur une base de données carbone établie dans le contexte du Label Bas Carbone Rénovation (LBC). Il s'agit d'un label d'état français qui propose un cadre d'évaluation de l'impact carbone d'un projet de rénovation à toutes les phases de son cycle de vie. La base de données du LBC s'appuie sur la base de données française INIES, qui regroupe une quantité croissante de fiches de déclaration environnementale et sanitaire pour des matériaux et éléments de construction (cf. encadré). La base de données utilisée reprend une liste d'impacts moyens selon de nombreuses catégories et familles de produits de construction (cf. encadré).

Représentativité de la base INIES

La base INIES est à ce jour la bibliothèque de fiches de déclaration environnementale la plus complète en Europe. Bien qu'elle soit centrée sur des produits vendus en France, elle couvre un périmètre de production plus large. En ce sens, elle est représentative du périmètre des projets analysés ici. Ceux-ci se situent en Belgique (14), en France (9), aux Pays-Bas (8) et au Royaume-Uni (1). Une analyse des provenances des produits documentés dans la base INIES indique que ces pays sont également représentés.

La base de données réalisée pour le Label Bas Carbone peut donc nous servir comme base de référence pour évaluer les impacts par catégorie ou par famille de produits. En revanche, si le Label Bas Carbone Rénovation prend le parti d'encourager le réemploi en considérant que les impacts de l'ensemble du cycle de vie sont évités grâce au réemploi, nous faisons pour notre part le choix d'estimer le gain de façon plus réaliste en considérant que seuls les impacts des phases A1 à A3 sont évités grâce au réemploi des matériaux. Ceux-ci devront en effet être installés, entretenus et, le cas échéant, gérés en fin de vie selon des modalités qui ne diffèrent pas fondamentalement de celles applicables à des éléments neufs.

Catégorie ou famille équivalente ?

La base de données du label Bas Carbone est structurée selon une arborescence à deux niveaux : il y d'abord des catégories, qui contiennent elles-mêmes des familles de matériaux. Les catégories reprennent des fonctions générales dans la construction, sans se référer à des matériaux spécifiques (par exemple, du parement mural)¹.

Chaque catégorie contient des familles de produits qui répondent à cette fonction (par exemple, des carreaux de carrelage en ciment). Un impact environnemental moyen est attribué à chaque famille mais aussi à chaque catégorie. Dans notre approche, la question s'est donc posée de savoir si le réemploi d'un matériau donné se substituait à une catégorie ou à une famille. En pratique, les deux cas de figure peuvent se rencontrer dans le développement des projets de construction.

Dans le premier cas, les concepteur·ices d'un projet adoptent une approche ouverte et cherchent un matériau de réemploi susceptible de répondre à une fonction générale, sans se fixer nécessairement sur un matériau spécifique. Leur choix s'arrêtera sur un lot particulier en fonction des opportunités du moment. La réflexion se joue donc ici au niveau des catégories.

Dans le second cas, le réemploi est plus ciblé. Les concepteur·ices ont une idée précise du matériau nécessaire et cherchent à le trouver via diverses filières de réemploi. La réflexion intervient alors au niveau des familles.

Pour notre analyse, n'ayant pas nécessairement eu les éléments concernant la genèse des projets, nous avons systématiquement considéré que c'était le second cas de figure qui s'appliquait, ce qui semble aujourd'hui être plus commun, et avons donc utilisé dans nos estimations l'impact au niveau des familles.

¹- La liste des catégories a été établie par le législateur français dans l'annexe 1 de l'arrêté du

Étapes de calcul :

Pour estimer le carbone évité dans les projets évités, nous avons mis en place la démarche suivante :

- Étape 1 : sur base du relevé minutieux des matériaux réemployés dans les 32 projets du corpus, identification des familles de produits correspondant dans la base de données LBC.
- Étape 2 : calcul de des émissions de gaz à effets de serre dans les phases A1 – A3 pour ces familles de produits.
- Étape 3 : recherche de données complémentaires pour les familles non répertoriées dans la méthode LBC (bases de données INIES, ADEME ou autres sources internationales).
- Étape 4 : conversion de tous les quantitatifs en unités fonctionnelles.
- Étape 5 : calcul de l'impact carbone total évité.

La mesure des bénéfices environnementaux liés au réemploi figure dans les fiches détaillées des projets. Elle est exprimée en kilogrammes d'équivalent carbone correspondant en quantité en jeu dans chaque projet. Nous avons exprimées ces données en négatif : le signe "moins" exprime les émissions évitées grâce au réemploi.

Pour certains matériaux, nous n'avons pas trouvé de données suffisamment solides. Pour ceux-là, nous n'avons rien indiqué pour cette information.

Dans le cas de certains éléments en bois, la somme des émissions de gaz à effet de serre lors des phases A1-A3 peut mener à des résultats négatifs. Cela s'explique par le fait que certaines ACV considèrent le carbone absorbé par le métabolisme des arbres et des végétaux via la photosynthèse (dit carbone biogénique). Dans certains cas, il arrive que le carbone biogénique contenu dans le bois soit supérieur aux émissions d'équivalents carbone liées à



sa production. Il en résulte donc une contribution “négative” sur cet impact précis et à ces phases-là du cycle de vie. Dans notre approche basée sur un principe de substitution (mesure des émissions évitées), ces données étaient difficiles à interpréter : comment se représenter l’évitement d’émissions négatives ? Pour éviter ceci, nous avons utilisé une formule simplifiée permettant d’extraire du calcul d’impact le carbone biogénique correspondant aux quantités de bois en jeu¹.

1- Par souci de simplicité dans le cadre de ce projet pour lequel l’analyse intervient a posteriori, nous utilisons un contenu en carbone biogénique par défaut pour tous types de bois, fourni par la norme NF EN 16449 (2014), qui donne un taux de captation du CO₂ associé : 1,637kg.CO₂/kg.

4. DISCUSSIONS

La présente section présente les limites et les biais inhérents à notre approche.

4.1 Taille de l'échantillon

Notre échantillon (32 projets analysés) demeure relativement restreint. Ceci limite la représentativité de nos résultats, en particulier pour certains *layers* au sein desquels très peu de projets ont intégré des éléments de réemploi.

Cette limitation découle du temps et des ressources dont nous disposons lors de la réalisation de cette analyse. À l'avenir, nous sommes optimistes quant à la possibilité que de plus en plus de projets adoptent l'habitude de suivre leurs efforts de réemploi tout au long de leur exécution afin de compléter peu à peu la collection de cas d'étude disponibles.



Réaliser une analyse rétrospective de projets auxquels nous n'avons pas participé nécessite incontestablement plus de temps et de recherches que de suivre un projet "en direct", à mesure de son avancement et en disposant d'un accès direct aux données pertinentes.

4.2 Des projets pionniers

Bien que nous ayons choisi des projets ayant un potentiel de reproductibilité plutôt que des projets profondément expérimentaux, ces 32 projets possèdent tous un caractère remarquable et/ou novateur précisément parce qu'ils ont choisi de réemployer des matériaux.

Vu d'une perspective plus large, et malgré des efforts de plus en plus significatifs en matière de promotion du réemploi, l'industrie de la construction continue dans sa vaste majorité à ne pas réemployer les matériaux.

En l'état, ce biais est inévitable. Il faut espérer qu'il s'amenuise avec le temps et avec un accroissement progressif de l'adoption des pratiques de réemploi.

4.3 Hypothèses et extrapolations

Le calcul de la masse des éléments et des matériaux a été effectué avec le plus grand soin et un niveau de précision élevé, en se basant sur le maximum de données disponibles. Cependant, en raison du manque d'informations de première source pour certains éléments, nous avons été contraints d'émettre des hypothèses et de procéder à des extrapolations susceptibles de fragiliser quelque peu les résultats finaux.

Cette situation découle en grande partie de la dimension rétrospective (*ex post*) de notre travail d'analyse. En découle une série d'obstacles ayant trait à l'accès à l'information : manque de réactivité des organisations impliquées dans les projets (passées à autre chose entretemps) ; informations perdues ou compliquées d'accès ; etc.



Dans un monde idéal, chaque matériau utilisé sur un chantier serait dûment identifié, enregistré (et pesé !) avant d'être mis en œuvre. De la même manière, chaque élément quittant le chantier serait également identifié et quantifié. Un tel monitoring serait indubitablement fastidieux à mettre en œuvre mais il permettrait

le calcul automatique et précis des taux de réemploi et de récupération effectivement atteints.

De façon plus réaliste, le calcul des taux de réemploi peut être anticipé dès le démarrage du projet, et plus particulièrement lorsque s'élabore le métré (bordereau des quantités). Le calcul des taux de récupération peut, quant à lui, être établi sur base des bordereaux utilisés pour la gestion des déchets et d'un listing minutieux des éléments récupérés (celui-ci pouvant, le cas échéant, s'appuyer sur un inventaire/diagnostic préalable des matériaux réutilisables).

4.4 Prendre les indicateurs avec précaution

Le taux de réemploi est un indicateur qui permet jusqu'à un certain point de rendre compte des efforts entrepris ou attendus en matière de réemploi des matériaux. Il s'agit d'une approche qui se veut relativement simple et homogène mais qui, en aucun cas, ne peut prétendre à rendre compte de toutes les dimensions inhérentes à cette pratique.

 Le réemploi ne peut pas être réduit à une question de quantité. C'est une approche qui porte en elle des dimensions culturelles, sociales, économiques et environnementales, qui sont également, voire davantage, significatives qu'un aspect purement quantitatif. Ces dimensions ne sont pas toujours facilement mesurables ou quantifiables. À cet égard, le taux de réemploi peut constituer un *proxy* pratique, susceptible de donner des indications générales moyennant un monitoring somme toute relativement léger. Il importe cependant de ne pas en faire une finalité en soi, au risque de perdre des aspects importants.

Dans la même veine, le taux de réemploi n'est qu'une facette des efforts en matière de circularité. Il convient de ne pas en faire un prétexte à ne pas tenir compte d'autres aspects importants (notamment le taux de préservation de l'existant !).

5. CONCLUSION

Rapporter sur les taux de réemploi atteints dans diverses réalisations est une pratique qui mériterait d'être encouragée plus largement. Cela permettrait de créer une émulation positive et de suivre au fil du temps les progrès réalisés à diverses échelles (au sein d'une agence d'architecture, d'une entreprise de construction, d'une ville, d'une région voire même d'un pays donné).

Pour cela, il faut toutefois s'assurer que l'approche adoptée soit harmonisée et cohérente. Si chaque maîtrise d'ouvrage, architecte ou bureau d'étude utilise sa propre méthode de calcul, avec des définitions par trop différentes, tous ces efforts de comptabilisation auront peu d'utilité car ils ne permettront pas de comparer entre eux les différents résultats.

À ce titre, les autorités publiques peuvent jouer un rôle important en établissant des cadres communs et des mesures harmonisées.

Le présent document – et les autres volets auxquels il se réfère – entend apporter une contribution dans ce sens.

ANNEXE 1 : EXPLICATION DÉTAILLÉE DES HYPOTHÈSES

Comme expliqué précédemment (cf. [chapitre 1](#) et [2](#) du présent document), pour réaliser le calcul de la masse des éléments et matériaux, nous nous sommes appuyés sur les éléments suivants (par ordre de préférence) :

1. Fiches techniques des matériaux spécifiques au projet.
2. Bases de données de référence.
3. Hypothèses spécifiques

Dans la présente annexe, nous revenons en détail sur les bases de données de référence utilisées ainsi que sur les hypothèses spécifiques que nous avons formulées. Ce travail d'analyse nous a constamment demandé d'opérer des micro-décisions, d'arbitrer entre plusieurs choix, de formuler des hypothèses et d'ensuite rester cohérent·e·s vis-à-vis de celles-ci. Voici le détail de nos choix.

1 Bases de données de référence

1.1 ICE et KBOB

Nous avons principalement utilisé deux bases de données: (1) *The Inventory of Carbon and Energy* (également connu sous le nom de *ICE database*) et (2) la Plate-forme de données des écobilans dans la construction *KBOB/ecobau*¹.

La base de données ICE a été créée par le Dr. Craig Jones alors qu'il était chercheur à l'université de Bath (Royaume-Uni) et qu'il travaillait pour le professeur Geoff Hammond, au sein de l'équipe de recherche sur l'énergie durable (SERT). Elle est libre d'accès et fréquemment mise à jour par Circular Ecology, une *spin-off* de conseil en environnement issue de l'université. Elle contient des données pour plus de 200 matériaux, répartis en plus de 30 catégories.

La plate-forme de données des écobilans dans la construction est une base de données suisse mise en place par KBOB. Son objectif est de présenter des informations à jour et pertinentes à l'échelle nationale concernant les matériaux de construction, les équipements techniques du bâtiment, les systèmes énergétiques ainsi que les moyens de transport.

En combinant ces deux bases de données, nous disposons de données sur la masse volumique de plus de 500 matériaux de construction, qui ont servi au calcul de la masse des éléments homogènes. Pour certains matériaux très spécifiques, nous avons dû chercher ces données dans d'autres sources (pour certaines essences de bois ou certaines variétés de pierres locales par exemple, pour lesquelles nous avons généralement trouvé l'information au sein de la documentation technique établie par les fédérations concernées).

¹- KBOB (Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics de la Confédération suisse). Données des écobilans dans la construction - 2016

1.2 Base de données interne et masses unitaires

Pour les matériaux composites et/ou dont le volume est complexe à mesurer (pensons par exemple à des équipements de sanitaire, des appareils électriques, des machines de ventilation, etc.), nous avons utilisé des masses unitaires.

Contrairement aux données relatives à la masse volumique, les masses unitaires ne sont pas reprises de façon systématique dans des bases de données de référence. Nous avons donc construit notre propre base de données au fur et à mesure de l'analyse en compilant des données issues de fiches techniques de matériaux similaires à ceux présents dans les projets analysés¹.

2 Hypothèses spécifiques

Malgré la précision des bases de données utilisées, dans certains cas, le calcul de la masse d'un élément ou d'un assemblage de matériaux nécessite de formuler des hypothèses. Par exemple, s'il est relativement aisé de trouver la masse volumique et les dimensions d'une brique afin d'en calculer la masse, il n'est pas évident de connaître l'épaisseur de mortier utilisé pour assembler ces briques. Cette information est pourtant cruciale s'il s'agit de calculer avec précision le taux de réemploi dans un mur en briques. L'épaisseur des joints est parfois déterminée dans les cahiers des charges des travaux. Si cette information était disponible, nous l'avons utilisée. Dans le cas contraire, nous avons posé des hypothèses et établi des règles internes pour être cohérent entre les projets. La section ci-après présente les principales *rules of thumb* utilisées pour notre analyse.

2.1 Évaluer de manière conservatrice

De manière générale, lorsque nous disposons de plusieurs valeurs différentes pour un matériau ou un élément, que cela concerne des masses volumiques ou des masses unitaires, nous avons procédé soit à des moyennes entre les différentes valeurs, soit nous avons

¹- Base de donnée consultable sur demande.

☞ choisi en priorité les valeurs les moins avantageuses (c'est-à-dire les valeurs qui ont tendance à réduire le taux de réemploi). De cette manière, nous nous assurons de ne pas surestimer les taux de réemploi que nous calculions.

2.2 Calcul du mortier dans le cas d'un mur en brique

Revenons sur l'exemple du mur en brique. Lorsque nous n'avions pas accès à l'épaisseur spécifique de mortier utilisé dans un projet, nous avons alors utilisé une épaisseur de référence : 0,012 m (12 mm).

C'est l'épaisseur de référence utilisée par l'outil belge Totem (*Tool to Optimise the Total Environmental impact of Materials*). En fonction des dimensions des briques, il suffit alors de calculer le ratio entre la brique et le mortier pour calculer la masse de chacun des éléments. Le mortier étant toujours neuf, un mur composé entièrement de briques de réemploi ne sera donc jamais 100 % en réemploi. En général, le mortier représente 20 à 30 % de la surface d'un mur en brique, ce qui n'est pas négligeable.

2.3 Calcul du mortier dans le cas des pavés en pierre

Dans le cas des pavages en pierre naturelle, nous avons compté le mortier entre les pavés et la couche de mortier (ou de sable) qui se trouve directement sous les pavés et qui sont nécessaires à leur bonne mise en œuvre.

Lorsque la proportion entre le mortier et les pavés n'était pas disponible dans les documents auxquels nous avons accès, nous avons utilisé la valeur de référence suivante : 80% de pavés pour 20% de mortier (en surface).

Cette valeur a été calculée sur base de l'un des projets étudiés (Caserne de Mellinet), pour lequel nous disposions des données détaillées. Celles-ci nous ont permis d'établir que le ratio entre les pavés et le mortier se situait quelque part entre 80/20 et 90/10.

Suivant notre règle d'utilisation des données les plus conservatives, nous avons adopté comme principe général le ratio 80/20.

En ce qui concerne la couche de mortier sous les pavés, nous avons utilisé comme valeur de référence une épaisseur de 0,03 m (valeur utilisée par Totem).

2.4 Calcul simplifié de la masse des fenêtres

Pour le calcul de la masse de certaines fenêtres, nous avons utilisé une approche simplifiée qui ne comptabilise que le verre et non le châssis. La masse du châssis peut en effet être tenue pour négligeable dans certains cas répondant aux conditions suivantes :

- Fenêtres à double vitrage.
- Châssis en bois ou en aluminium (pas applicable au PVC).
- Dimensions relativement standards où le châssis représente pas plus de 30% de la surface totale de la fenêtre.

Dans les cas répondant à ces conditions (et pour lesquels nous n'avions pas accès à des données plus spécifiques), nous avons utilisé les valeurs de référence suivantes :

- Vitrage de sécurité = 35 kg/m².
- Double vitrage standard (non sécurisé) = 20 kg/m².

2.5 Estimation de la masse des équipements (sanitaires, HVAC, électricité)

Les *layers* relatifs aux divers équipements du bâtiment sont ceux pour lesquels nous disposons généralement de peu d'informations et de données précises. Ce sont aussi ceux qui se sont avérés les plus fastidieux à calculer car ils sont composés d'un vaste ensemble d'éléments très spécifiques.

Lorsque les données étaient absentes, trop lacunaires ou trop imprécises nous avons eu recours à un calcul très simplifié sur base

de valeurs de référence. Ces valeurs proviennent de la littérature scientifique¹ concernant l'impact carbone des installations de services aux Etats-Unis, plus précisément dans des bâtiments de bureaux neufs. Dans ce type de bâtiment, les auteurs ont estimé que les installations de chauffage et de ventilation pesaient en moyenne 13 kg/m², les installations électriques 4 kg/m² et les installations sanitaires 3 kg/m².

Il faut cependant faire attention dans l'utilisation de ces estimations, en particulier dans le cadre de projet de rénovation : ces valeurs calculent l'ensemble des installations de services, or dans une rénovation légère par exemple, bien souvent une partie conséquente des éléments est conservée. L'utilisation de ces estimations dans ce type de projet pour calculer les flux entrants est donc imprécise et nous ne l'avons pas appliquée dans de tels cas. De même, cette formule n'est probablement pas adéquate pour d'autres types d'affectation.

2.6 Tableau des éléments par *layer*

Définir à quel *layer* appartient chaque élément n'est pas toujours aisé. Pour certains éléments le *layer* correspondant paraît évident, pour d'autres les éléments pourraient se référer à plusieurs *layers* différents selon les interprétations. Dès lors nous avons procédé à des choix, souvent au cas par cas et selon les spécificités des projets.

Ci-dessous se trouve un tableau qui reprend la classification par *layer* des éléments courants que nous avons utilisée lors de notre analyse.

1- Rodriguez B. X. & Alberti M. (2019). Embodied carbon of heating ventilation air conditioning and refrigerants (hvac r) systems. Dissertation at the University of Washington Libraries.

Layer	Element	Notes
01. Structure		
01. Structure	Beams	
01. Structure	Columns	
01. Structure	Load-bearing walls	
01. Structure	Foundations	
01. Structure	Floor slabs	
01. Structure	Joists	
01. Structure	Window and door lintels	
01. Structure	Retaining walls	
01. Structure	Poured concrete stairs	
01. Structure	Bridge structure	
01. Structure	Structure of terraces/patios	
01. Structure	Load-bearing brick walls	Including mortar
02. Skin		
02. Skin	Facade material	
02. Skin	Facade structure	
02. Skin	Insulation	If part of exterior wall. If part of interior partitions, count as space plan
02. Skin	Exterior doors	
02. Skin	Exterior windows	
02. Skin	Exterior window sills	
02. Skin	Outdoor motorized sunscreen	
02. Skin	Roof cladding	
02. Skin	Underlay	
02. Skin	Rainwater pipes	
02. Skin	Insulation/sealing between building and ground	
02. Skin	Balcony structure and finishes	
02. Skin	Awnings and their structure	Structure supporting only the element itself
02. Skin	External glass railing	
02. Skin	Brick cladding	Including mortar
03.01 Services - HVAC		
03.01 Services - HVAC	Ventilation systems	
03.01 Services - HVAC	Radiators	
03.02 Services - Electricity		
03.02 Services - Electricity	Electrical cables	
03.02 Services - Electricity	Electrical panels	
03.02 Services - Electricity	Outlets	
03.02 Services - Electricity	Electrical appliances	
03.02 Services - Electricity	Kitchen appliances	
03.02 Services - Electricity	Fixed lighting fixtures	
03.02 Services - Electricity	Fixed fire equipment	
03.02 Services - Electricity	Fixed fire alarms	
03.02 Services - Electricity	CO2 detector	
03.02 Services - Electricity	Security equipment	
03.02 Services - Electricity	Security alarms	
03.02 Services - Electricity	Security cameras	
03.03 Services - Sanitary/Plumbing		
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Toilets	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Bathroom sinks	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Bathtubs and showers	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Grab bars	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Water pipes	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Kitchen sink	
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Water tanks	Even if outdoors, since they are an extension of the sanitary system
03.01 Services - Sanitary/Plumbing	Pipes	Outdoor extension of the sanitary system
04. Space Plan		
04. Space Plan	Non-load bearing walls and partitions	Including any structure within that assembly
04. Space Plan	Glass partitions	
04. Space Plan	Interior windows	
04. Space Plan	Interior doors	
04. Space Plan	Flooring materials	Including underflooring, screed, and other floor supporting structure
04. Space Plan	Baseboards	
04. Space Plan	Railings	
04. Space Plan	Drop ceilings	
04. Space Plan	Acoustic panels	

Layer	Element	Notes
04. Space Plan	Service hatches	
04. Space Plan	Partitions that cover service ducts	"Gaine technique" if they are have wood or plasterboard lining
04. Space Plan	Fixed or built-in furniture	
04. Space Plan	Shelves, cabinets, millwork	
04. Space Plan	Closet doors	
04. Space Plan	Mailboxes	
04. Space Plan	Baby changing tables	
04. Space Plan	Kitchen cabinets	
04. Space Plan	Kitchen islands	
04. Space Plan	Kitchen countertops	
04. Space Plan	Plaster	If it is thicker than 0.5 cm and considered a finish on its own
04. Space Plan	Fixed mirrors	
04. Space Plan	Interior stairs	If they are not poured concrete
04. Space Plan	External staircases	Can be evaluated on a case by case basis
05. Outdoor - Infrastructure		
05. Outdoor - Infrastructure	Retaining walls	
05. Outdoor - Infrastructure	Road works (underneath the asphalt surface)	
05. Outdoor - Infrastructure	External wall foundations	
05. Outdoor - Infrastructure	Fence foundations	
05. Outdoor - Infrastructure	Sand or soil supporting any pavers or paths	
05. Outdoor - Infrastructure	Underground networks of pipes	
05. Outdoor - Infrastructure	Valves	
05. Outdoor - Infrastructure	Manhole covers	
05. Outdoor - Infrastructure	Meshes	
05. Outdoor - Infrastructure	Grills	
05. Outdoor - Infrastructure	Water meters	
05. Outdoor - Infrastructure	Electrical meters	
05. Outdoor - Infrastructure	Control boxes	
05. Outdoor - Infrastructure	Inspection chamber	
05. Outdoor - Infrastructure	Topsoil	Underneath the humus layer
06. Outdoor - Surfaces		
06. Outdoor - Surfaces	Road surfaces (ex: asphalt)	
06. Outdoor - Surfaces	Mulch, gravel, or pavers used to mark areas	
06. Outdoor - Surfaces	Mulch, gravel used as planting areas	
06. Outdoor - Surfaces	Exterior stairs	If bearing on the ground
06. Outdoor - Surfaces	Terraces, patios	Can be evaluated on a case by case basis
06. Outdoor - Surfaces	Pavers	Including the mortar in between them and the layer of mortar below them
07. Outdoor - Furnishings		
07. Outdoor - Furnishings	Fences	
07. Outdoor - Furnishings	Gates	
07. Outdoor - Furnishings	Guardrails	
07. Outdoor - Furnishings	Sprinklers	
07. Outdoor - Furnishings	Water fountains	
07. Outdoor - Furnishings	Bike racks	
07. Outdoor - Furnishings	Playground and gym equipment	
07. Outdoor - Furnishings	Sculptures	
07. Outdoor - Furnishings	Billboards	
07. Outdoor - Furnishings	Benches, tables, other fixed outdoor furniture	
07. Outdoor - Furnishings	Tree trellises and supports	
Exclusions		
We are not including a "site" layer. Instead, we are breaking up anything that has to do with site into the three categories in sections 05, 06, 07.		
We are not including:		
- Loose furniture including loose lighting fixtures		
- Paints, primers, varnishes, and other surface finishes thinner than 0.5 cm		
- Plants and trees		
- Signage		
- Elevators		
FR		
Nous n'incluons pas de layer "site". En revanche, nous répartissons tout ce qui a trait au site dans les trois catégories des sections 05, 06 et 07.		
Nous n'incluons pas :		
- Les meubles, sauf s'ils sont fixes, y compris les appareils d'éclairage, sauf s'ils sont encastrés		
- Les peintures, vernis et autres finitions de surface d'une épaisseur inférieure à 0,5 cm.		
- Les plantes et les arbres		
- La signalétique		
- Les ascenseurs		

