2ème Congrès Interdisciplinaire du Développement Durable : *Comment accéder à la transition ?*

Emilie Gobbo (auteur)
emilie.gobbo@uclouvain.be
010/47.26.36
UCL – Faculté d'architecture, d'ingénierie architecturale et d'urbanisme LOCI
Architecture et Climat

Formation disciplinaire : Architecture orientation développement durable
Thème choisi : 3. Logement et aménagement du territoire (en lien avec les thèmes 1. et 4.)

Titre: **Le bâtiment comme gisement de matières**
Analyse du bilan métabolique (matières) des opérations de rénovation énergétique en Région de Bruxelles-Capitale

ABSTRACT

La thèse veut répondre à une problématique d'actualité et définie comme ligne d'action par l'Union Européenne à savoir, promouvoir une gestion *efficiente* de nos ressources par l'économie et la préservation de ces dernières ainsi que par la réduction de la production de déchets et leur valorisation. De plus, au regard du contexte énergétique actuel, la rénovation du parc immobilier ancien et énergivore apparait comme essentielle. Outre le gain énergétique réalisé durant l'occupation du bâtiment grâce à cette intervention, le processus de rénovation signifie également une consommation de matières premières et une génération de déchets importantes dont les impacts ne sont pas suffisamment considérés dans les processus de conception.

S'inspirant de théories véhiculées par l'écologie industrielle, le *Cradle to Cradle* et le *4Dimensional Design*, la recherche propose de considérer le bâtiment comme un gisement de matériaux susceptibles de représenter à moyen ou long terme des ressources matérielles locales à l'échelle régionale. L'étude s'est portée sur certaines interventions de rénovation énergétique définies comme exemplaires par la Région de Bruxelles-Capitale. L'analyse, portant essentiellement sur l'enveloppe, propose dans un premier temps d'aborder les tendances d'intervention de la rénovation durable. Dans un second temps, elle s'attaque à l'identification et la quantification des stocks et flux de matières engendrés par l'opération de rénovation dénommées aussi *bilan métabolique* ou *bilans matières*. Ensuite, l'étude se penche sur l'impact environnemental des différentes possibilités d'amélioration de l'enveloppe. L'idée est de pouvoir comparer le bilan environnemental (évaluation quantitative) au potentiel de valorisation des éléments construits appelé aussi *valorisabilité* (évaluation qualitative) actuellement en cours d'élaboration.

Parallèlement, la recherche questionne nos pratiques et interventions architecturales actuelles: que sommes-nous en train de mettre en œuvre qui pourrait constituer, à terme, des déchets en puissance ou des ressources potentielles?

I. CADRE THÉORIQUE

Nos lectures nous ont poussés au-delà du seul champ architectural car la problématique abordée par cette recherche est une problématique liée à notre économie, à nos modes de fonctionnement et de pensées en général. Ainsi, l'approche rejoint plus largement des modèles 'récemment' véhiculés tels que l'économie circulaire, l'Urban Mining, le métabolisme urbain ou l'écosystème urbain. Nous nous sommes cependant concentrés sur trois courants théoriques que sont **l'écologie industrielle** [5] [7], le **Cradle to Cradle** [2] et le **4Dimensional Design** [9].

L'écologie industrielle (E.I) ainsi que le Cradle to Cradle (C2C) s'intègrent en premier lieu au secteur industriel, l'application de leurs principes en architecture nécessite donc une réflexion quant à leur possible transposition. **L'Écologie Industrielle** s'attèle à diminuer l'impact environnemental d'industries situées sur un même territoire par l'analyse des flux de matières et d'énergie. Cette étude des flux (matières premières et ressources) permet d'identifier des substitutions ou mutualisations possibles de certaines matières ou substances réduisant ainsi l'impact environnemental et pouvant entrainer un gain économique pour les entreprises. Le **C2C** travaille essentiellement sur l'éco-conception des produits afin que ces derniers constituent non plus un souci mais un 'bénéfice' environnemental par leur caractère non-polluant et entièrement recyclable. L'approche vise donc une dynamique de production positive plutôt que de tabler sur un discours culpabilisant visant la réduction des impacts de nos activités économiques. La transposition des préceptes du C2C à l'architecture est actuellement en développement, soutenue par les développeurs du concept (Braungart et Mc Donough) et un consortium d'architectes à échelle internationale. Le **4Dimensional Design** est un concept étudié et développé dans le domaine architectural. Il vise l'intégration du temps comme 4ème dimension dans la conception des bâtiments. Initialement basé sur les théories du *Design for Deconstruction & Disassembly*, et plus largement usité dans les cas de logements temporaires ou d'urgence, le concept 4D travaille sur des modes constructifs permettant la réversibilité des assemblages et donc l'adaptabilité et la récupération des éléments et matériaux en fin de vie.

Bien que différents, ces trois courants conceptuels se rejoignent sur une idée centrale qui sera également la base de réflexion de cette recherche : quitter le modèle de fonctionnement linéaire actuel pour tendre vers un **modèle cyclique**, inspiré des **écosystèmes naturels**, et où toutes matières en fin de vie peut constituer une ressource. La mise en œuvre d'un système circulaire nécessite une **éco-restructuration** de nos modes de fonctionnement. Un des outils de base pour atteindre cet objectif est la conception ou **l'éco-conception** combinée à l'analyse de nos systèmes existants (fonctionnements, flux/stocks,…).

Ces différentes approches présentent également des limites : leur mise en pratique est souvent intéressante mais pas suffisante (ni aboutie dans certains cas) en comparaison des préceptes énoncés. Les aspects sociaux, éthiques et culturels sont en général peu abordés. Ensuite l'applicabilité au secteur constructif semble difficile dans certains cas, plus particulièrement dans le contexte d'un parc immobilier déjà existant.

II. DIAGNOSTIC - CONTEXTE

L'Union Européenne (U.E) se caractérise par une importante **consommation de ressources** et une large **production de déchets** [4]. Bien que de nombreux efforts soient entrepris pour endiguer le problème, la démographie et l'urbanisation croissantes font que cette inclination tend à se renforcer s'accompagnant d'une série d'impacts environnementaux sous-jacents. Depuis peu, les milieux urbains concentrent en leur sein la majeure partie de la population. Or, les villes présentent une forte dépendance pour leur approvisionnement et le traitement de leurs déchets. Les quantités consommées et rejetées augmentent donc avec l'accroissement de la population. L'étude du **métabolisme urbain** constitue en ce sens un élément de réponse pour encourager la transition vers une meilleure compréhension et indirectement une meilleure gestion des flux et stocks transitant par les espaces urbanisés [1]. La **Région de Bruxelles-Capitale** n'échappe pas à cette tendance et constitue ici le cadre urbain dans lequel s'inscrit cette recherche.

Dans ce contexte, le **secteur de la construction** particulièrement consommateur de matières premières, d'énergie et générateur de déchets est défini par l'Union Européenne comme un des **secteurs clés d'action** pour tendre vers une meilleure gestion de nos ressources et de nos déchets [3]. De plus, le parc immobilier existant est relativement ancien et énergivore, la nécessité de le rénover est donc incontournable. En amont des projets de rénovation, les incitants financiers et réglementations en vigueur (OPEB), poussent les architectes et maitres d'ouvrage à agir sur la performance énergétique des bâtiments, l'objectif étant de diminuer la consommation en énergie durant la phase d'occupation des immeubles. La question centrale est donc énergétique. Quant à la problématique ressources et déchets, elle est peu abordée par les concepteurs même si ces notions sont progressivement introduites grâce à une série de démarches préparatoires au niveau fédéral, régional et sectoriel : études, réalisation d'EPD (Déclaration Environnementale de Produits) par les fabricants de matériaux[1], concours bâtiments exemplaires, etc. Cependant, à l'heure actuelle, il s'agit essentiellement de démarches volontaires portant sur le choix conscient de matériaux à faible impact environnemental.

Afin d'apporter une réponse plus globale aux enjeux présents et futurs liés au secteur constructif, intégrer la **notion de matière** (comprenant ressources et déchets comme ressources) à celle d'énergie devient incontournable pour tout projet d'architecture. C'est, en tout cas, l'objectif poursuivi dans la présente étude qui propose d'appréhender le bâtiment comme un **stock de matériaux** potentiellement ré-utilisables. A une échelle plus large, cela reviendrait à considérer le bâti construit comme un **gisement** de matières pouvant représenter des **ressources locales potentielles**. Mais, pour que des matières puissent un jour constituer des ressources plutôt que des déchets et rejoindre les cycles de valorisation (réemploi, recyclage), la **notion de fin de vie** doit pouvoir être intégrée dès le stade de conception des produits mais également des bâtiments [9]. Or, lorsqu'un projet est construit, sa démolition ou sa déconstruction ultérieure est rarement considérée. En ce sens, la conception constitue un outil clé d'action sur la possible valorisation des matières en fin de vie. Un changement doit donc s'opérer dans notre façon de concevoir les bâtiments afin d'engager et accélérer la transition vers une utilisation 'efficiente' de nos ressources locales. En outre, nos opérations de rénovation influencent irrémédiablement les stocks et flux de

[1] En ce sens, l'Union Européenne a pour objectif d'harmoniser les méthodes utilisées pour la réalisation des Analyses de Cycle de Vie (ACV) servant aux EPD à travers l'établissement de règles et de normes communes. Les résultats obtenus grâce aux EPD se veulent comparables, flexibles, fiables et transparents.

matières actuels mais aussi futurs. Cette prise de conscience constitue un premier pas vers un changement devenant indispensable et qui devrait pouvoir toucher l'ensemble du secteur.

III. QUESTIONS ET HYPOTHÈSES

En considérant le cadre théorique de la recherche comme base de réflexion et face à la problématique énoncée, la recherche pose plusieurs questions et hypothèses:

La première question est d'ordre général :

- Le **déchet** peut-il constituer une **ressource** et être valorisé comme tel [1][2][6][8]? Ce précepte permettrait en effet de répondre aux enjeux précédemment cités.

Les considérations suivantes concernent plus spécifiquement le secteur de la construction et les concepteurs:

- Quel matériaux et produits mettons-nous en œuvre qui pourraient constituer à terme des déchets ou des ressources potentielles ? Dans la course à la performance énergétique, par ailleurs entièrement justifiée et indispensable, ne négligeons-nous pas l'impact de nos choix conceptuels sur la consommation de ressources et la production de déchets ?
- Pour répondre partiellement aux questions énoncées, l'hypothèse propose d'appréhender le bâti existant comme un **stock de ressources matérielles** en attente d'une potentielle réutilisation ultérieure. Cette hypothèse rejoint les concepts théoriques précédemment étudiés ainsi que les notions de métabolisme urbain et d'*urban mining.* La valorisation de nos ressources locales, la création de circuits courts, l'encouragement d'une économie circulaire et la diminution de notre impact environnemental par une meilleure gestion de nos ressources correspondent aux objectifs énoncés par l'Europe et poursuivis également par la région bruxelloise. Si une bonne connaissance des stocks et des flux matériels est indispensable à la mise en place d'un tel objectif, ces données sont actuellement lacunaires voire inexistantes.
- Ensuite, face aux réglementations énergétiques actuelles encourageant l'amélioration des performances énergétiques des bâtiments, une autre question s'est alors présentée : quelles conséquences vont porter nos processus de rénovation énergétique sur les flux et stocks de matière ?
- Parallèlement, quels impacts environnementaux vont avoir les différentes possibilités d'amélioration thermique de l'enveloppe qui s'offrent aux concepteurs et maîtres d'ouvrage ?
- Enfin, pouvons-nous évaluer le potentiel de valorisation ou la *valorisabilité* des éléments que nous mettons en œuvre et ce, dans le but d'encourager au maximum la valorisation de la matière en fin de vie (communément appelée 'déchet') comme ressource ?

IV. MÉTHODOLOGIE

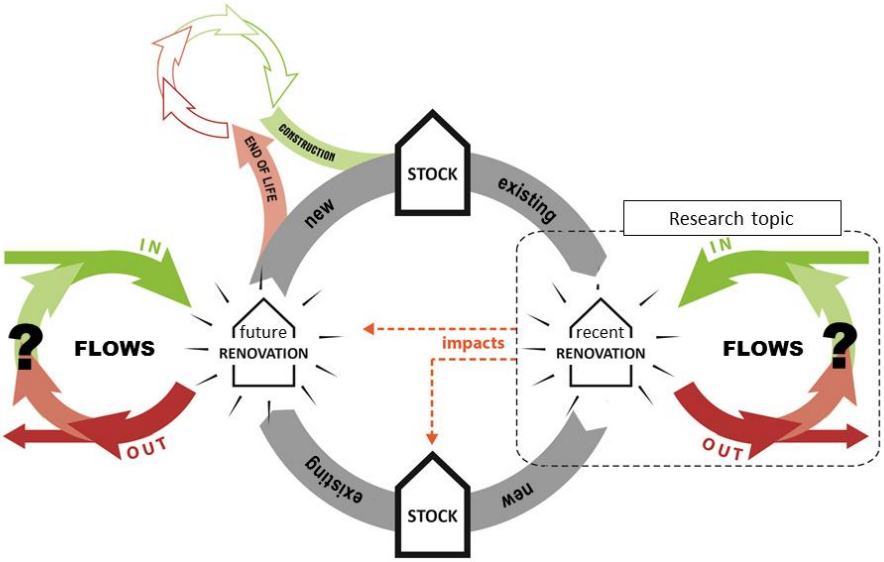
Dans le contexte actuel, la conscientisation énergétique devrait donc s'accompagner d'une **conscientisation relative à la valeur de la matière** pour ce qu'elle a coûté en énergie, en ressources pour sa fabrication intiale et pour ce qu'elle pourrait coûter en déchets à traiter. Il devient en effet urgent d'agir dans le sens d'une réduction des déchets produits et d'une préservation et valorisation des ressources locales potentielles contenues dans nos

bâtiments. Ces dernières sont actuellement inexploitées par méconnaissance du gisement à disposition. Avant de pouvoir prétendre à une gestion optimale de ces stocks et flux matériels par le bouclage, et donc par la valorisation des déchets comme ressources, il nous faut connaître la situation intiale et donc analyser le gisement ou stock matériel en présence.

Pour amener un premier élément de réponse à cette situation, la recherche propose de considérer le **bâtiment comme unité métabolique** et de l'analyser durant son processus de rénovation énergétique en termes de **stocks et de flux en présence** avant, après et durant l'opération[2]. L'objet d'étude est défini selon sa représentativité sur le territoire bruxellois et les objectifs ambitieux de la région en matière de rénovation. L'analyse de l'objet d'étude tend à apporter plusieurs éléments de réponse et un éclairage nouveau à la situation. Premièrement, nous questionnons les **tendances d'intervention** de la rénovation durable. Ensuite, un ***bilan métabolique*** de l'opération est réalisé en termes de matières par l'analyse des stocks et des flux de matière. Nous l'appellerons aussi ***bilan matière***. La quantification opérée permet de dégager des ratios pouvant s'avérer utiles pour tendre vers une meilleure gestion des flux matériels possiblement produits. Il parait également important de relever l'**impact environnemental** des différentes possibilités d'amélioration thermiques de l'enveloppe des bâtiments se présentant aux concepteurs. De plus, un questionnement est mené sur le **potentiel de valorisation** que constituent les composantes de cette enveloppe. Un matériau réemployable peut-il l'être encore une fois mis en œuvre dans le bâtiment? L'approche proposée, relativement théorique, doit également s'accompagner d'une analyse du contexte actuel : quels sont les **obstacles et opportunités** à la valorisation optimum des matières contenues dans le bâti ?

Un schéma de principe représentant l'approche proposée est présenté ci-dessous.

Illustration 1 : Schéma de principe de l'approche proposée



Source : Emilie Gobbo

Les différentes étapes de l'analyse sont explicitées ci-après.

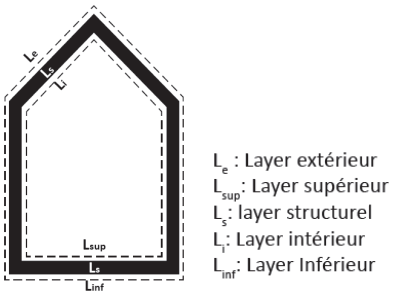
[2] Certaines études de métabolisme urbain émergent et abordent la question selon une approche top-down principalement. Nous proposons ici une méthode bottom-up partant de l'unité de construction pour tendre ensuite vers une échelle plus large.

Étapes

Dans un premier temps, l'objectif de valorisation et gestion optimales nécessite de combler le manque de données disponibles concernant l'impact de nos rénovations énergétiques sur les stocks et les flux de matières. Pour ce faire, nous avons opté pour une approche *bottom-up* qui part de l'analyse d'études de cas pour installer une méthode reproductible à d'autres projets. Cette première partie se déroule selon les étapes suivantes :

- Définir un **objet d'étude** représentatif[3] de la Région de Bruxelles-Capitale : l'analyse s'est donc portée sur des bâtiments de logement mitoyens, construits avant 1945 et rénovés selon les critères du concours Bâtiments Exemplaires[4] (BATEX) ; *23 projets répondant à l'objet d'étude ont été identifiés*
- Proposer une **décomposition** du bâtiment permettant une systématisation de l'approche[5]. L'étude porte essentiellement sur l'enveloppe puisqu'il s'agit du premier système sur lequel il faut agir pour améliorer les performances énergétiques du bâti. Cette enveloppe est considérée comme une somme de composantes (façades, toiture, dalles) elles-mêmes constituées de couches ou layers différents : layers extérieur, structurel et intérieur. Ces layers sont par ailleurs composés de un à plusieurs matériaux différents.

Illustration 2 : Proposition de décomposition



Source : Emilie Gobbo

- Analyser les **tendances d'intervention** des rénovations énergétiques en termes de démolitions opérées (conservation, démolition partielle ou complète) et d'isolation de l'enveloppe ; *10 projets sur 23 ont été analysés*
- Dresser le ***bilan métabolique*** en termes de matière de l'opération de rénovation par l'identification et la quantification des flux entrants (IN : matières neuves mises en œuvre) et sortants (OUT : déchets produits) ainsi que des stocks en présence avant et après rénovation. Cette approche permet par ailleurs de mettre en exergue l'impact de la transformation sur le stock matériel du bâtiment ; *1 projet a fait l'objet de cette analyse*
- Introduire une réflexion prospective en termes de gestion des stocks et flux à l'échelle régionale. Sur base de ratios déterminés par la quantification des bilans matières et sur base de taux de rénovation annuels envisagés, il serait en effet possible d'extrapoler les quantités de matières à gérer à échelle plus large. Cette proposition d'approche bien que relativement théorique, met en lumière les potentialités d'un possible outil de planification (grâce aux ratios) dans le but de tendre vers une meilleure gestion des ressources et déchets matériels locaux.

[3] Nous sommes conscients que les projets s'intégrant dans le programme du concours bâtiments exemplaires (BATEX) constituent une faible proportion des rénovations de la Capitale. Néanmoins, considérant les objectifs ambitieux de la Région en termes de rénovation, ils constituent un bon exemple d'optimum à atteindre (si de plus, nous considérons que les exigences ne feront que croitre à l'avenir comme l'ont prouvé les évolutions en la matière de ces dernières années).

[4] Incitant financier accordé par la Région de Bruxelles-Capitale sur base d'une démarche volontaire et ayant pour but de stimuler la rénovation énergétique durable en région bruxelloise.

[5] La proposition de décomposition se base entre autres sur la théorie de Steward Brand développée dans son ouvrage *How Building Learn : What happens after they're built* de 1994.

Dans un second temps, il s'agit d'évaluer **l'impact environnemental** des différentes possibilités d'amélioration de l'enveloppe qui s'offrent au concepteur. Parallèlement et dans la continuité du travail effectué en première partie, ces diverses opportunités d'amélioration thermique sont également évaluées selon le **potentiel de matières valorisables** qu'elles représentent. L'idée poursuivie est de savoir quel est le degré de valorisation, appelé aussi ***valorisabilité***, du stock préalablement identifié et de pouvoir comparer les données obtenues avec celles du bilan environnemental. En effet, l'identification et la quantification des stocks et flux ne nous informent pas sur le caractère valorisable ou même valorisé des matières contenues dans le bâtiment. Les **freins et opportunités** à une valorisation optimale de la matière sont également abordés en fonctions de certaines fractions clés identifiées dans les études de cas. Ces deux derniers points (*valorisabilité*, freins et opportunités) sont en cours de réalisation, c'est pourquoi nous ne les présenterons pas plus avant dans cet article. Néanmoins, nous proposons d'exposer les premiers résultats concernant le bilan environnemental. La seconde partie d'analyse se développe comme suit :

- Définir **l'objet d'étude**, c'est-à-dire les parois types de l'enveloppe et fractions clés caractérisant les projets étudiés et qui seront sujets à analyse
- Évaluer le **bilan environnemental** de ces parois ; *évaluation quantitative*
- Évaluer le **degré de *valorisabilité*** (ou potentiel de valorisation) de ces parois. Pour ce faire, nous nous sommes basés sur plusieurs ouvrages traitant de cette thématique (principalement [9] et [10]) pour définir une série de paramètres pouvant influencer la possible valorisation des matériaux mis en œuvre; *évaluation qualitative*[6]
- Comparer les données[7]
- Identifier les **freins et opportunités** rencontrés lorsqu'un objectif de valorisation maximale est visé, en considérant certaines fractions clés; *optimisation*[8]

V. RÉSULTATS

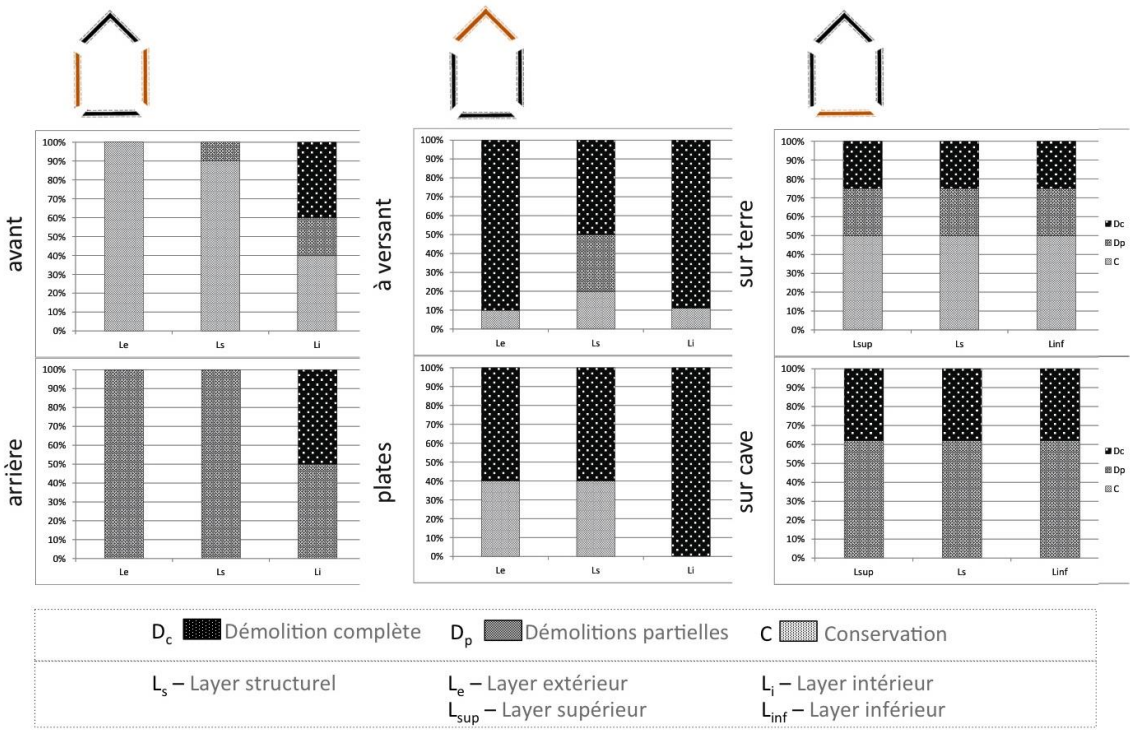
1. Tendances d'intervention

Les tendances d'intervention se définissent par les récurrences observées dans les démolitions opérées sur les composantes de l'enveloppe mais également par les récurrences dans la façon dont cette enveloppe est améliorée au niveau thermique : quel type d'isolant est utilisé et dans quel layer il est mis en œuvre[9]. Comme indiqué dans la méthodologie, 23 projets[10] BATEX répondent à la définition de l'objet d'étude (bâtiments résidentiels mitoyens d'avant 1945 rénovés BATEX). Dix de ces derniers ont été analysés suivant les tendances d'intervention.

1.1 Démolition de l'enveloppe

[6] Ces données ne seront pas présentées dans l'article car elles sont en cours d'analyse
[7] Ces données ne seront pas présentées dans l'article car elles sont en cours d'analyse
[8] Ces données ne seront pas présentées dans l'article car elles sont en cours d'analyse
[9] Pour le terme *layer* (ou couche), se référer au deuxième point de la méthodologie sur la proposition de décomposition du bâtiment.
[10] Ces 23 projets concernent les éditions de 2007, 2008, 2009 et 2011. L'édition de 2013 n'a pas été considérée car elle est postérieure au début de l'analyse opérée.

Illustration 3 : Principes d'intervention : Démolitions apportées à l'enveloppe



Source : Emilie Gobbo

L'étude a porté sur les différentes composantes de l'enveloppe du bâtiment (façades, toitures, dalles), elles-mêmes décomposées en couches (ou *layers*) pour l'analyse. Les résultats démontrent des degrés de démolitions variables selon les composantes et les différentes couches qui les composent. Nous pouvons en effet observer :

Concernant les variations entre composantes :

- Une forte propension à la démolition complète concernant les toitures comparativement aux autres composantes.
- Une conservation plus importante relative aux composantes *façades avant*[11] et *dalle sur terre plein*
- Une démolition partielle systématique pour les composantes *façade arrière* (agrandissement de baies, extensions, …) et *dalle sur cave* (création de trémies techniques, remplacement partiel, …)

Concernant les variations entre *layers* :

- Dans les composantes façades, une plus large tendance à la démolition complète pour les *layers* intérieurs (finitions intérieures) par rapport aux autres *layers*.
- Dans les composantes toitures, comme déjà dit plus haut, on observe une forte propension à la démolition complète de façon globale pour toutes les couches. Néanmoins, pour les *toitures à versant*, le *layer* structurel fait l'objet de conservation ou de démolition partielle de manière plus courante que les autres *layers*. Les *toitures plates* présentent aussi des variations entre *layers* : une plus grande conservation pour les *layers* extérieur et structurel est observée.

[11] Ce phénomène se justifie principalement par les réglementations urbanistiques en vigueur.

- Dans les composantes dalles, les interventions sont identiques d'un *layer* à un autre, c'est-à-dire que lorsqu'une dalle est démolie, elle l'est sur l'ensemble de son épaisseur comprenant ainsi les trois *layers*.

1.2 Isolation de l'enveloppe

Les tendances d'isolation ont également été étudiées par composantes et par layers. Les résultats montrent:

En façade :

- Concernant les *façades avant*, la tendance est à l'isolation par l'intérieur. Cela se justifie par les réglementations urbanistiques en vigueur concernant l'alignement. Les types d'isolants mis en œuvre à l'intérieur présentent une diversité importante. Certaines façades sont néamoins isolées par l'extérieur avec comme isolants préférentiels le polystyrène expansé (EPS), le polystyrène extrudé (XPS) et la fibre de bois (fdb). Dans ce cas, il s'agit principalement de bâtiments situés en retrait par rapport à l'alignement des façades à rue (petit jardinets ou cours à l'avant du bâtiment) permettant plus de 'libertés' en termes urbanistiques (ou dérogations obtenues).
- Concernant les *façades arrière*, l'isolation par l'extérieur est systématique avec les même types d'isolant que ceux rencontrés dans le cas des *façades avant* (EPS,XPS, fdb). Notons que l'isolation par l'extérieur est préférée à l'isolation par l'intérieur car elle permet d'éviter certains désordres liés aux nœuds constructifs (ponts thermiques) grâce à une meilleure continuité de l'isolant. Certaines nouvelles parois à ossature bois créées en façade arrière (annexe principalement) sont cependant isolées dans leur épaisseur structurelle. Le type d'isolant alors utilisé est la cellulose ou la fibre de bois

En toiture :

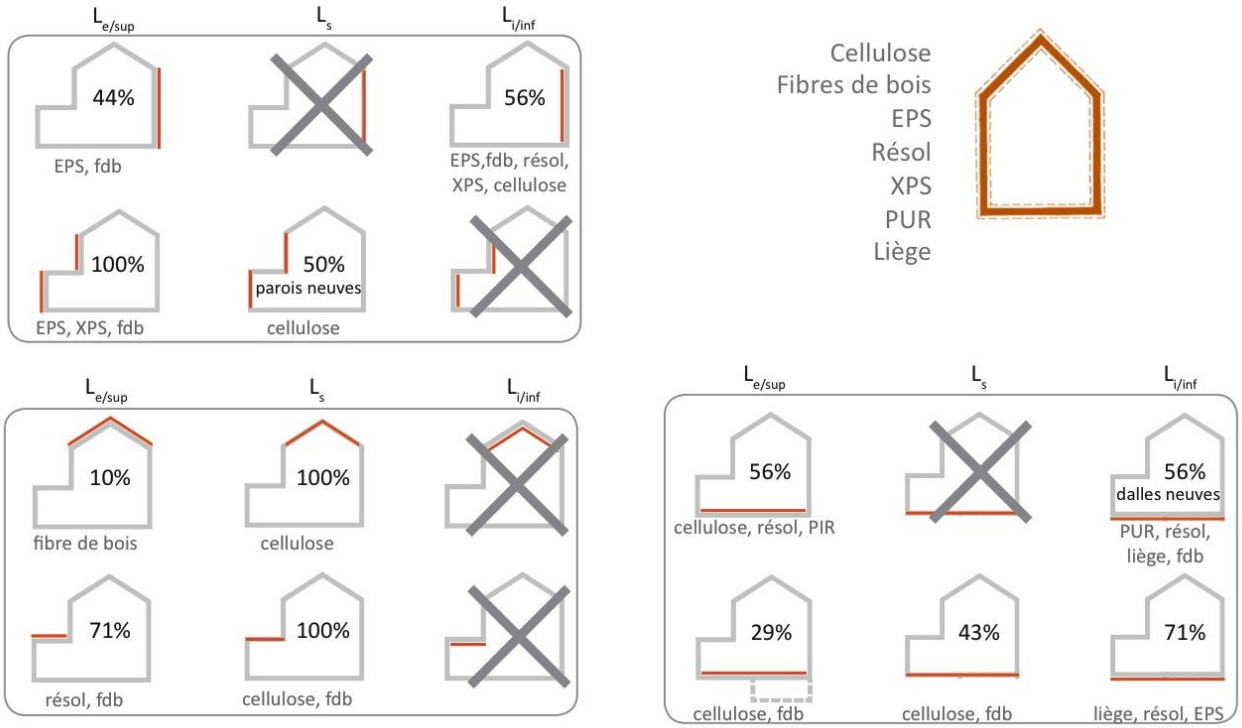
- Concernant les *toitures à versant*, la structure étant en bois, c'est l'isolation dans l'épaisseur structurelle qui est privilégiée. Les isolants principalement usités sont la cellulose et la fibre de bois. Une isolation complémentaire par l'extérieur (fibre de bois) est parfois prévue. Aucune isolation par l'intérieur n'est envisagée.
- Concernant les *toitures plates*, la tendance est similaire aux *toitures à versant* avec une isolation systématique dans la structure du toit. Une plus grande proportion d'isolation par l'extérieur (complémentaire) est cependant réalisée avec des panneaux de mousse phénolique (résol). Aucune isolation par l'intérieur n'est envisagée.

En dalle :

- Concernant les *dalles sur terre-plein* existantes, elles sont améliorées dans tous les cas au niveau du *layer supérieur*. Cela parait évident étant donné l'inaccessibilité des couches inférieures. Les nouvelles dalles construites proposent quant à elles une isolation en couche inférieure (sous le *layer structurel*) de type panneaux rigide de polyuréthane (PUR) ou résol.
- Les *dalles sur cave* présentent une plus grande diversité d'intervention avec une majorité d'isolation au niveau du *layer inférieur*, sous la couche portante qui peut être en béton ou en structure bois. Le type d'isolant alors utilisé est variable : liège, résol ou EPS. Si la structure est en bois, elle permet l'isolation dans l'épaisseur structurelle avec de la cellulose ou de la fibre de bois. Dans le cas des dalles en béton, l'isolation ne peut se faire que par le dessus ou le dessous (déjà pré-cité). Les types d'isolant concernés par l'isolation en *layer supérieur* sont la cellulose et la fibre de bois.

La figure ci-dessous illustre les résultats obtenus en termes de tendances d'isolation de l'enveloppe.

Illustration 4 : Principes d'intervention : Isolation de l'enveloppe



Source : Emilie Gobbo

Les résultats en termes de types de matériaux choisis sont toutefois à considérer avec un certain recul. En effet, nous insistons sur le fait que la palette de matériaux isolants choisie est fortement influencée par les critères énoncés dans le cadre du concours BATEX.

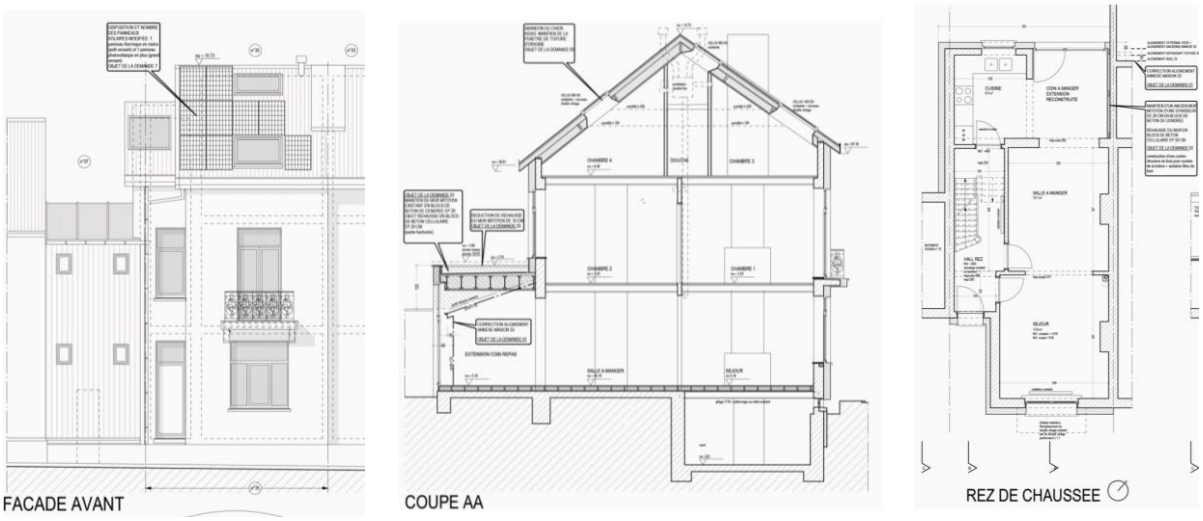
Notons également que la somme des résultats obtenus par type de composante dépassent dans certains cas les 100%. Ce phénomène s'explique par le fait qu'il n'existe pas une seule solution de parois par composante mais parfois plusieurs, et que les isolants peuvent aussi être mis en œuvre de façon complémentaire dans plus d'un layer. Par exemple, en façade arrière, deux types de parois peuvent coexister avec des options d'isolation différentes : les parois existantes améliorées et les nouvelles parois créées pour une extension par exemple. Il s'agit donc de deux types de parois comptabilisées pour une même composante d'enveloppe. De même, en toiture, l'isolation dans l'épaisseur structurelle est parfois combinée avec un complément d'isolation au niveau du *layer extérieur*.

2. Bilan matière

Le *bilan matière* ou *bilan métabolique* de l'opération de rénovation consiste en l'identification et la quantification des stocks et flux matériels engendrés par l'intervention. La réalisation d'un tel bilan a été menée sur un projet parmi les 23 projets initialement identifiés (voir point sur la méthodologie). L'édifice concerné se situe sur la commune d'Auderghem. Construit initialement en 1921, le bâtiment mitoyen d'une superficie de 122m² est situé en retrait de l'alignement à rue (permettant ainsi l'isolation par l'extérieur) et est affectée en logement individuel. La rénovation a comme objectif de réduire la consommation annuelle en

chauffage à 26 kWh/m² , soit l'équivalent de critères très basse énergie[12]. Les plan, coupe et façade sont présentés de manière succinte ci-dessous[13].

Illustration 5 : Façade avant, coupe et plan du rez-de-chaussée du projet Application.



Source : Gérard Bedoret, architecte

L'analyse du bilan métabolique se déroule en trois étapes distinctes :

- comptabilisation du stock avant rénovation
- comptabilisation des flux de matières entrants et sortants générés par les travaux de rénovation
- comptabilisation du nouveau stock obtenu

L'analyse concerne les éléments de la construction suivants :

- l'enveloppe bâtie ainsi que
- les éléments délimitant les espaces intérieurs (planchers, murs, cloisons intérieures)

Par contre, les équipements et installations techniques (ventilation, électricité, plomberie, ...) n'ont pas été retenus car leur quantification précise dans un bâtiment existant et relativement ancien demeure une tâche difficile à réaliser.

La quantification s'est portée sur huit fractions de matières différentes étudiées selon leur poids et leur volume :

- les inertes
- les liants minéraux et dérivés
- les bois et dérivés
- les métaux
- les plastiques et dérivés
- les verres
- les isolants
- la terre (quasi inexistante dans le cas de rénovation de logement en RBC)

[12] Trois « niveaux » de performance sont définis en RBC et dans le cadre du concours BATEX : le niveau *passif* (besoins < 15 kWh/m^2.an), le niveau *très basse énergie* (besoins < 30 kWh/m^2.an) et le niveau *basse énergie* (besoins < 60 kWh/m^2.an).

[13] Le projet est lauréat de l'appel à projet Bâtiment Exemplaire organisé par Bruxelles Environnement en 2011. Toutes les données ont été récoltées auprès de Bruxelles Environnement et de l'architecte du projet (Atelier d'Architecture Gérard Bedoret)

L'utilisation de deux unités de comptabilisation différentes, à savoir la tonne et le m^3, permet d'élargir le champ de vision de la problématique matière.

Outre l'avantage que constitue la réalisation d'un bilan matière par une meilleure connaissance des flux engendrés par la rénovation d'un logement vers du très basse énergie, l'opération permet également d'identifier l'impact de cette intervention sur le stock matériel que constitue le bâtiment.

2.1 <u>En poids</u>

Concernant les stocks :

Les résultats obtenus montrent que la part d'inertes dans le bâtiment existant avant transformation est prépondérante (80%), confirmant ainsi les données disponibles et communiquées par la région. Le stock obtenu après rénovation offre peu de variations significatives quant aux proportions de chaque fraction. Les inertes constituent toujours 75% du poids total des matières contenues dans l'édifice suivis par les liants minéraux (et dérivés) et le bois (et dérivés). Les isolants ne constituent que 2%.

Concernant les flux :

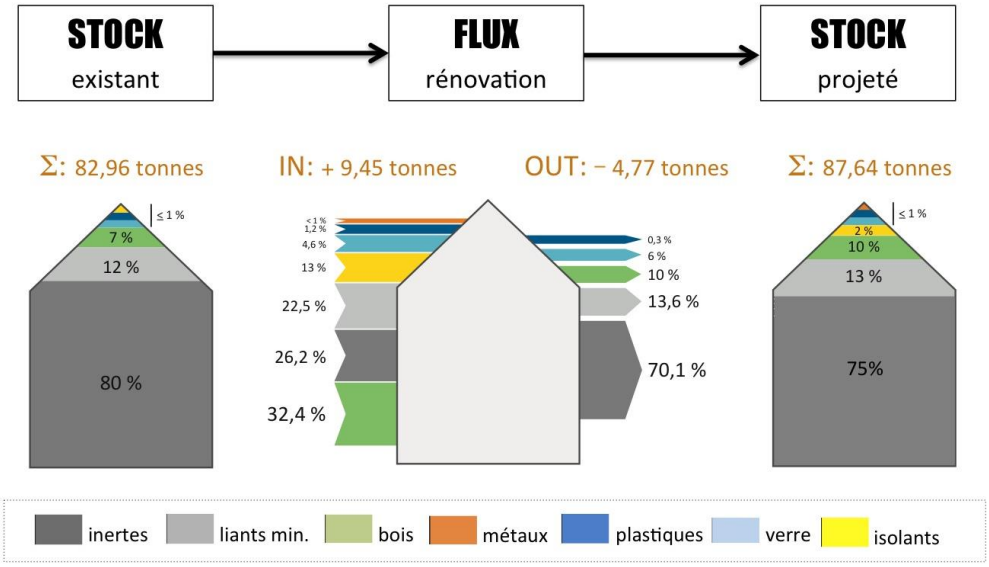
Durant l'opération de rénovation, le poids des matières neuves mise en œuvre est près de deux fois supérieure à celui des déchets produits. Notons qu'il s'agit ici d'un parti pris dès le départ du projet par l'architecte et le maitre d'ouvrage. Leur objectif était en effet la conservation maximale des éléments existants et donc la limitation des déchets produits lors de la rénovation. Cette volonté a été principalement formulée dans un but économique (réduction des coûts et économie de matières) mais également dans une démarche de durabilité (allongement de la durée de vie des éléments du bâtiment).

- Les matières neuves apportées (IN) sont variées et de nature souvent plus complexe que les matériaux d'origine. Nous y observons une prédominance de bois et dérivés (>32%) utilisés principalement à des fins structurelles et de support/contreventement, d'inertes (>26%), de liants minéraux (>22%) pour les finitions, et d'isolants (13%).
- Les matières enlevées (OUT) concernent surtout les inertes avec un peu plus de 70%, les liants minéraux (> 13%) et les matériaux bois (10%) dans une moindre mesure.

Notons que l'unité de poids est l'unité de référence utilisée dans le secteur du traitement des déchets, sauf dans le cas de l'évacuation des déchets sur chantier où les containers sont généralement enlevés et payés au m^3. Nous avons pu observer que les inertes constituent une importante part des stocks matériels et des flux sortants. Les systèmes constructifs de cette époque (<1945) prévilégient en effet le recours à ce type de matière (essentiellement brique, béton et pierre). En outre, les inertes se caractérisent également par des masses volumiques bien plus importantes que celles d'autres matériaux comme le bois, le plâtre ou les isolants. Ces deux constats expliquent bien l'importante proportion que représentent ces matériaux dans la construction, surtout en termes de poids. Il serait à présent intéressant de noter si des différences importantes apparaissent lorsque l'unité de volume est considérée[14]. Pour faciliter la comparaison, les deux types de résultats sont indiqués à la suite l'un de l'autre selon les figures suivantes :

[14] Notons que les volumes calculés ne tiennent pas compte du foisonnement inhérent à toute démolition/déconstruction. Il s'agit ici d'une comptabilisation de volume des matières telles qu'elles sont mise en oeuvre dans le bâtiment, comme si ces matériaux étaient livrés sur palette ou accolés sans vides intersticiels .

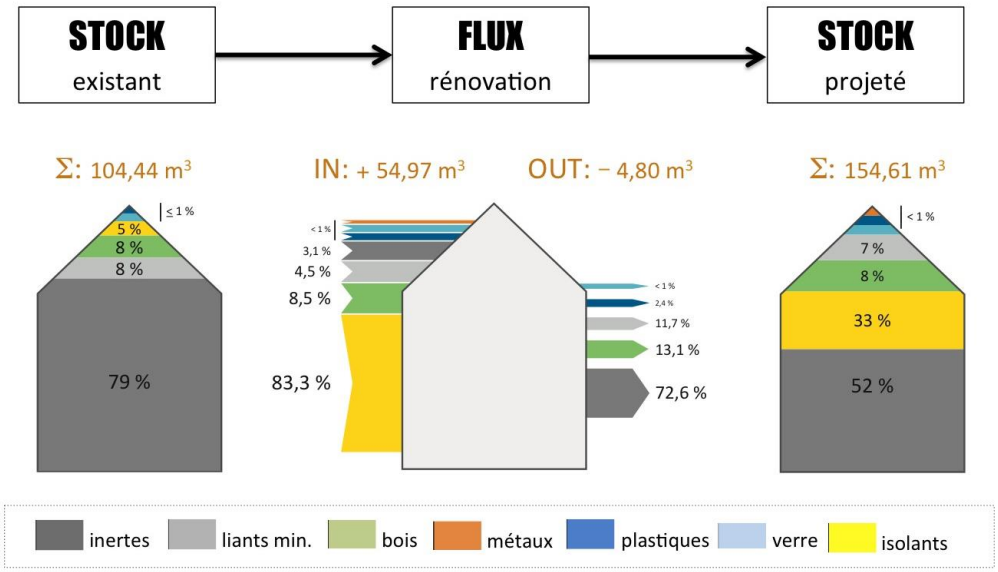
Illustration 6 : bilan matière du projet en poids



Source : Emilie Gobbo

2.2 *En volume*

Illustration 7 : bilan matière du projet en volume



Source : Emilie Gobbo

Considérer l'unité de volume apporte un éclairage nouveau à l'interprétation des résultats et permet d'identifier certaines fractions clés pouvant passer 'inaperçu' en utilisant uniquement l'unité de poids comme référence. En effet, comparativement au bilan précédemment présenté, les proportions de matières varient fortement durant la transformation et après cette dernière.

Concernant les stocks :

En ce qui concerne le stock existant, les inertes restent prédominants avec 79% du volume total. Par contre, une fraction précédemment presque insignifiante (voir bilan poids) apparaît de manière plus conséquente dans le stock après rénovation : les isolants. Ces derniers

représentent au final près du tiers du volume total de matériaux contenus dans le bâtiment alors que la part d'inertes s'élève à un peu plus de la moitié. Ce bilan nous pousse à affirmer que les isolants, considérés ici comme une famille de matériaux à part entière malgré leur diversité de nature de ressources, constitueront donc une fraction clés à l'avenir lors de toute intervention ultérieure.

Concernant les flux :

Durant l'opération de rénovation, le volume de matières neuves mise en œuvre est plus de onze fois supérieure à celui des déchets produits (voir explications dans *poids*).

- Les matières neuves apportées (IN) concernant surtout et principalement les isolants avec plus de 83% du volume des matériaux mis en œuvre suivis de loin par les matériaux bois (>8%) et les liants minéraux et dérivés (>4%). Cette tendance s'explique par l'amélioration des performances énergétiques de l'enveloppe requérant une grande quantité de matériaux isolants. Ces derniers ne représentent pourtant que quelques % dans le bilan matière en poids. Les isolants constituent en effet des matériaux à faible masse volumique.
- Comme dans le bilan précédent relatif au poids, les matières enlevées (OUT) concernent surtout les inertes avec un peu plus de 72%, les matériaux bois (13%) et les liants minéraux (> 11%) dans une moindre mesure.

2.3 Ratios : outil de planification et de gestion ?

La quantification des stocks et des flux de matières permet d'obtenir des ratios (volume ou poids au mètre carré) en fonction du type de bâti et du type de rénovation. Appliqué à échelle plus large, ces ratios pourraient constituer un possible outil de planification de gestion des flux matériels selon la politique de rénovation encouragée par la région. L'avantage que constitue un tel outil est évidemment de pouvoir anticiper les flux de matières engendrés par la rénovation du parc immobilier existant et indirectement de tendre vers une meilleure gestion de nos potentielles ressources locales contenues dans nos bâtiments. Malheureusement, les analyses réalisées par la présente recherche ne sont pas suffisantes pour justifier l'utilisation des ratios obtenus à ces fins. L'échantillon d'analyse devrait en effet être beaucoup plus large pour proposer des données fiables. Sur base des résultats obtenus dans cette recherche, nous avons cependant réaliser une simulation de ce que pourrait constituer ce type d'outil à l'échelle régionale afin de mettre en exergue l'avantage que ce dernier pourrait constituer à l'avenir.

Nous proposons donc ci-dessous une vision synthétique et simplifiée de l'utilisation qui pourrait être faite d'un tel outil. Elle se développe en deux étapes :

- Déterminer la **représentativité** du bâtiment analysé sur le territoire régional en termes de m^2 et sur base de plusieur paramètres: sa morphologie, la distributions de ses espaces intérieurs, et son année de construction[15] [11]
- Adapter le **taux de renouvellement** annuel du parc immobilier en fonction de la politique de rénovation encouragée : nous proposons ici de retenir l'objectif de 2% poursuivi par l'Union Européenne en matière de renouvellement annuel du parc

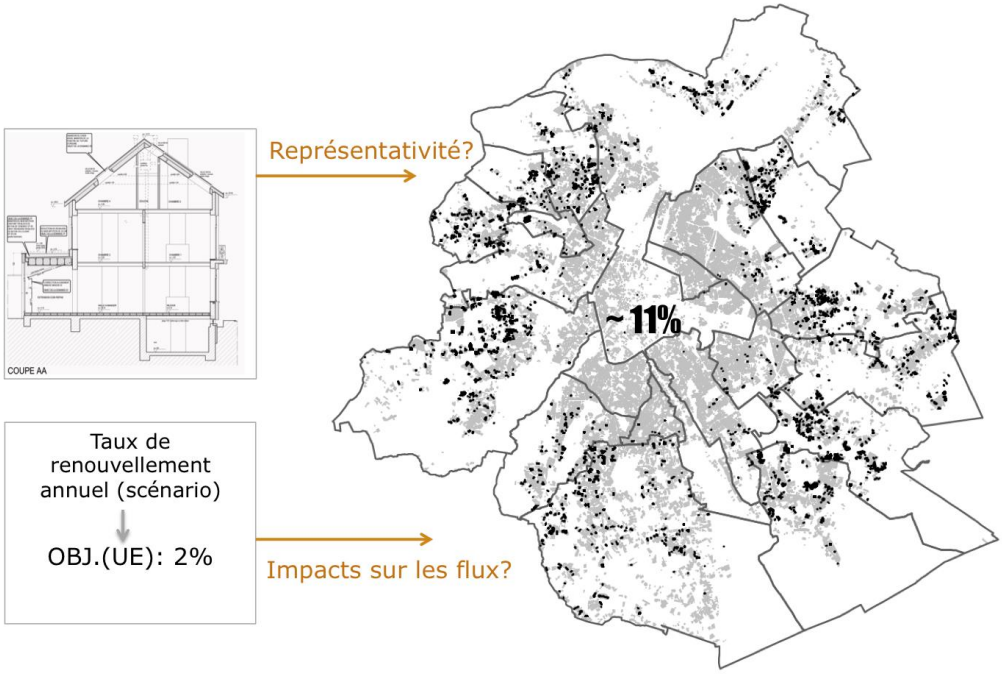
[15] Toutes les données de classement par types et surfaces ici présentées proviennent de l'étude B3Retrotool. Cette étude fait partie d'une plateforme régionale d'encouragement de la recherche dans le cadre de la rénovation à Bruxelles. Un article provenant de cette étude et relatif aux typologies bâties est référencé en bibliographie [11].

immobilier. Notons que cette valeur est loin de celle réalisée en réalité à Bruxelles qui avoisinne plutôt le demi pourcent. Tout comme le type de rénovation étudié dans cette recherche, nous prenons le parti de retenir un objectif ambitieux qui deviendra sans doute un jour inévitable ou imposé. Evidemment, cette valeur est adaptable en fonction de objectifs poursuivis par chaque région.

Application :

1. Si nous considérons la représentativité du projet analysé sur le territoire selon sa morphologie et l'agencement intérieur, il rejoint le type de la maison pour petite bourgeoisie d'après 1918[16]. Ce type de construction représente environ 1.579.507 m² construits en RBC [11] soit environs 11% des bâtiments résidentiels construits avant 1945.

Illustration 8 : Représentativité de l'objet d'étude à échelle régionale

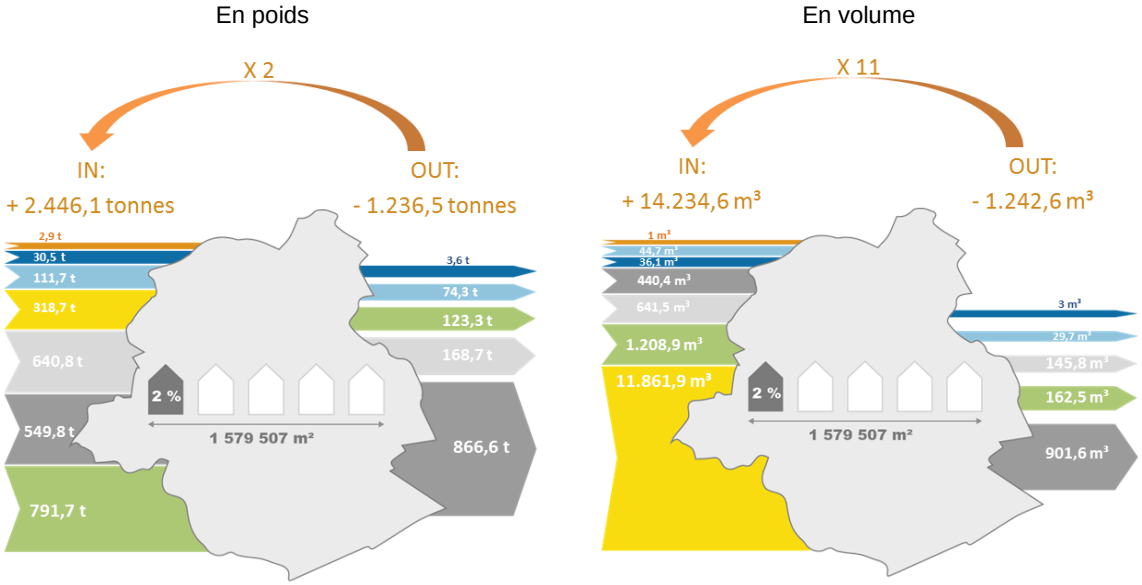


Source : Emilie Gobbo et cartographie provenant de l'étude B3Retrotool

2. Si nous considérons un taux de renouvellement optimal du parc de 2% annuel, cela correspond à environ 31.590 m² rénovés. Dans l'hypothèse où ces bâtiments sont rénovés vers des critères élevés en matière de performance énergétique tels que formulés dans le concours BATEX[17] et, en considérant un minimum de démolitions tels que le parti suivi dans le projet étudié, quelle quantité de matières ces opérations pourraient-elles engendrer à l'échelle régionale en un an?

[16] Mise à part quelques légères modifications spatiales et l'introduction de nouveaux matériaux, l'organisation en plan de cette dernière ne diffère pas beaucoup de celle de la maison bourgeoise d'avant 1914.
[17] Pour rappel, le concours BATEX représente actuellement l'optimum de rénovation visé par la région mais il est réalisée sur base volontaire, aucune obligation légale ou réglementaire n'est donc d'application.

Illustration 9 : Flux potentiels engendrés à l'échelle régionale par la rénovation du parc immobilier de même ne type que le projet étudié (en considérant un taux de renouvellement annuel de 2%)



Source : Emilie Gobbo

3 Bilan Environnemental

L'objectif de cette évaluation environnementale est de mettre en exergue l'impact des différentes solutions d'amélioration thermique de l'enveloppe qui s'offrent au concepteurs. Plus précisément, il s'agit de comparer les impacts environnementaux d'une solution où la paroi existante est conservée et améliorée et d'une solution où elle est démolie puis reconstruite. Pour l'évaluation, nous nous sommes basés sur l'outil développé par Sophie TRACHTE dans sa thèse de doctorat[18] [10]. L'objet de l'évaluation concerne l'étude de parois types couramment rencontrées dans les projets BATEX précédemment analysés.

3.1 Méthode et hypothèses :

L'outil n'ayant pas été développé exactement aux fins poursuivies par cette recherche[19], nous avons émis une série d'hypothèses et avons retravaillé les graphiques fournis par l'outil en fonction des objectifs poursuivis :

- Nous nous sommes basés sur une durée de vie totale du bâtiment de 50 ans ce qui semble peu au regard de l'ancienneté des bâtiments étudiés mais qui correspond aux durées de vie couramment usitées dans le calcul d'impacts environnementaux de parois.
- Les batiments étudiés sont antérieurs à 1945, c'est-à-dire qu'ils ont au moins plus de 70 ans d'ancienneté (voire souvent plus) : nous émettons l'hypothèse que les impacts environnementaux liés à la fabrication des matières existantes mises en œuvre sont amortis. Ces impacts sont cependant représentés dans les graphes (en grisé) car il est important de se rendre compte de la 'valeur' de la matière mise en œuvre en ce qu'elle a

[18] L'outil s'appuie sur des bases de données existantes telles que ECOINVENT, écobilans KBOB et ECOSOFT.
[19] L'outil a été initialement réalisé dans le but de comparer l'impact du choix de certains matériaux dans la performance environnementale de parois. Ces dernières sont toujours comparées à performance thermique égale (coefficiant de transmission thermique U similaire). Il n'est donc pas question au départ de comparer la différence d'impact environnemental entre une amélioration de paroi exitante et une démolition-reconstruction.

coûté initialement à sa fabrication. Ces données nous permettent également de pouvoir faire la comparaison globale entre une paroi existante conservée et améliorée et une paroi démolie et reconstruite.

- Nous avons considérer les couches de finition avec une durée de vie supérieure à celle automatiquement fournie par l'outil. En effet, bien que les matières utilisées (plafonnage, plaques de carton-plâtre, etc) soient annoncées avec des durées de vie de 10 à 30 ans, le plus souvent ces dernières ne font l'objet de démolition que lorsque de gros travaux de transformation/rénovation sont prévus dans le bâtiment et dont la fréquence avoisine les 50 ans plutôt que les 10 à 30 ans.

Pour chaque composante de l'enveloppe, trois cas d'étude sont proposés sur base des résultats obtenus pour la paroi existante type initiale (indiquée *exist*),:

1. paroi existante améliorée (indiquée **P.*exist+***)
2. paroi existante démolie et reconstruite à l'« identique » (indiquée **P.*neuf//exist+***)
3. paroi existante démolie et reconstruite avec un autre système constructif (indiquée **P.*neuf***)

Nous avons tenté de faire correspondre au maximum les couches entre les différentes parois étudiées. Notons toutefois que ces couches diffèrent entre les parois (1) (2) et la paroi (3) puisque cette dernière propose un système constructif et des matériaux différents. L'objectif de cette évaluation n'est pas de comparer l'impact de choix de matériaux sur le bilan environnemental mais de comparer l'impact de conserver ou démolir une paroi existante. L'interprétation des résultats sera donc réalisée en conséquence et, les comparaisons entre les matériaux des parois (1) (2) et la paroi (3) sont donc à considérer avec certaines précautions. Toutes les parois proposées présentent la même valeur de coefficient de transmission thermique (U).

Nous avons limité notre analyse à l'étude de 3 indicateurs d'impacts distincts les plus couramment usités (les résultats sont toujours indiqués par mètre carré de paroi):

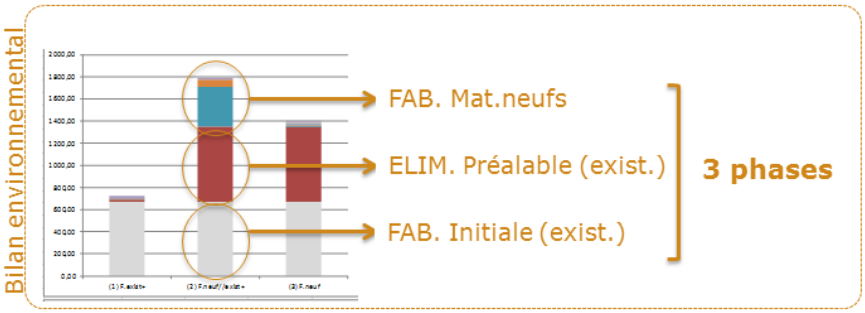
- La quantité de matière (**Q**) en kg/m^2
- L'énergie grise (**EG**) en MJ/m^2
- Les Gaz à Effet de Serre (**GES**) en kg.CO_2/m^2

Enfin, nous avons considéré 3 phases distinctes dans l'évaluation du bilan environnemental des parois, à savoir :

- La phase de **fabrication initiale** de la paroi existante (FAB.exist). Comme indiqué précédemment, bien que nous émettons l'hypothèse que l'investissement de base soit amorti après autant d'années, il nous apparaît essentiel de faire apparaître ces valeurs pour deux raisons : les impacts initiaux liés à la fabrication des matériaux existants ne sont pas négligeables ensuite, démolir ces matières construites sans qu'une raison d'état ou de stabilité ne le justifient, représente une « perte » liée à l'énergie et aux impacts initialement consentis pour leur fabrication. *Cette phase est représentée en gris clair dans les graphes.*
- La phase d'**élimination préalable** des couches existantes surtout dans le cas des démolitions/reconstructions (ELIM.exist). *Cette phase est représentée en rouge foncé dans les graphes.*
- La phase de **fabrication des nouveaux matériaux** mis en œuvre (FAB.neuf). Dans le cas de la paroi améliorée, nous économiserons donc sur la phase de fabrication des éléments existants conservés.

L'illustration ci-dessous montre la manière dont seront présentés les résultats du bilan environnemental suivant le 3 phases précitées :

Illustration 10 : Phases considérées dans le bilan environnemental



Source : Emilie Gobbo

Les phases de fabrication (FAB. Exist et neuf) concernent les étapes du « berceau à la porte » (ou *cradle to gate*) et considèrent l'extraction des matières premières, la fabrication des produits et le transport de ces derniers entre ces deux étapes. La phase d'élimination (ELIM.exist) tient compte du traitement actuel des déchets et du potentiel de recyclage de ces derniers [10].

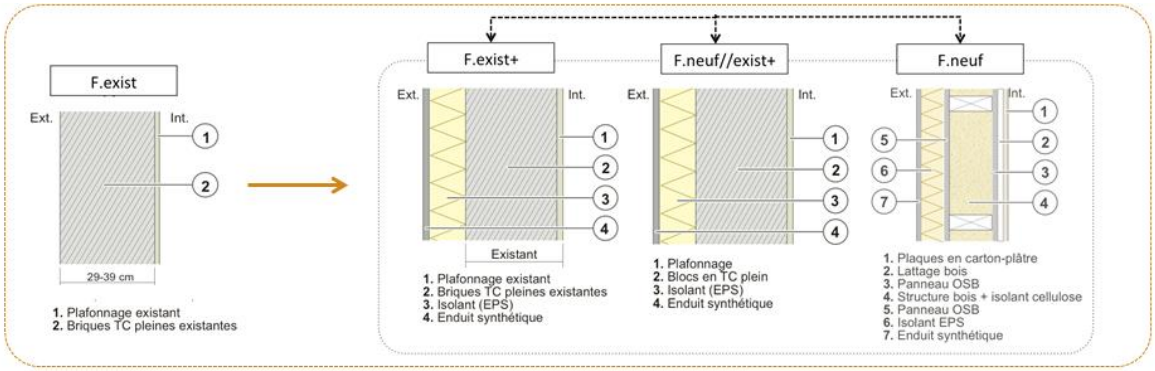
En résumé, l'analyse porte donc sur 3 parois différentes en considérant 3 indicateurs et en comptabilisant 3 phases distinctes.

Parois	Indicateurs	Phases considérées
(1) P.*exist+*	Q en kg/m^2	(FAB.exist)
(2) P.*neuf//exist+*	EG en MJ/m^2	+ ELIM.exist
(3) P.*neuf*	GES en kg.CO_2/m^2	+ FAB.neuf

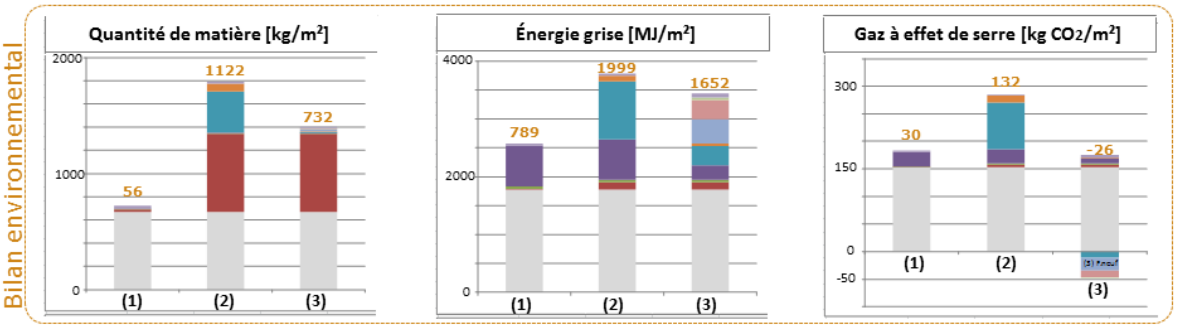
3.2 Résultats[20] :

Façade

Illustration 11 : Bilan environnemental des parois types de la composante Façade



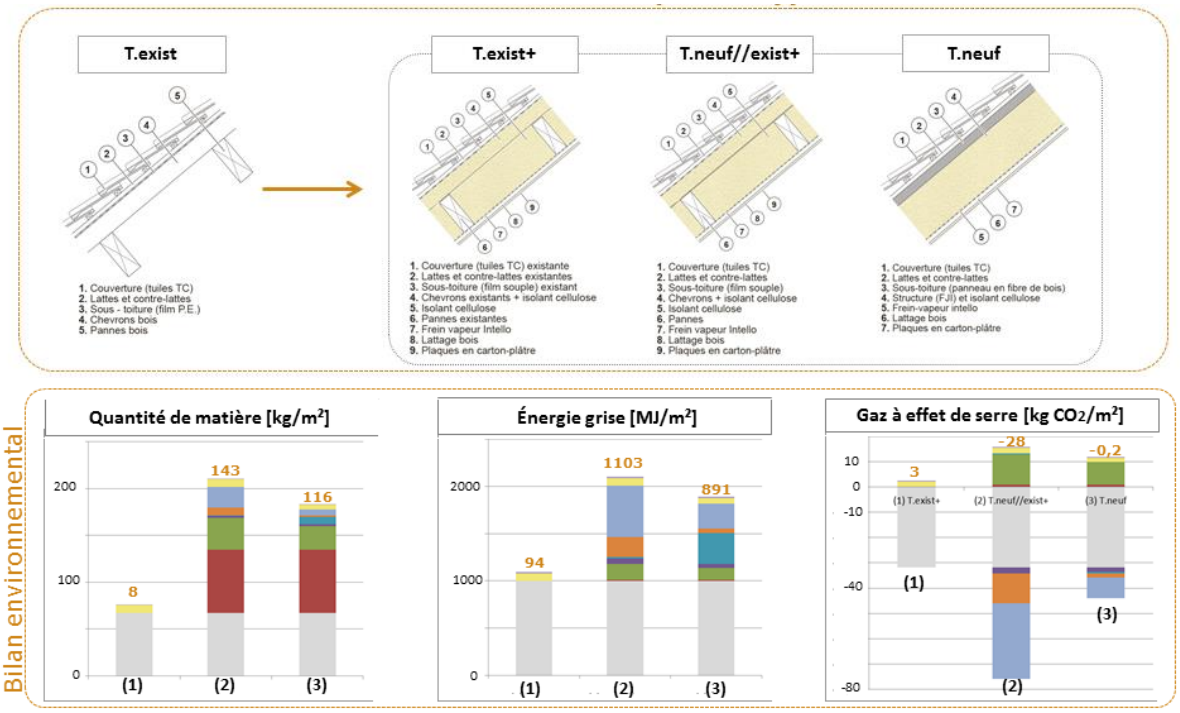
[20] Notons que les sommes indiquées au sommet des bâtonnets ne tiennent pas compte des résultats de la situation existante exprimée en gris clair (base du bâtonnet). La raison en a été donnée précédemment : étant donné l'importante durée de vie des bâtiments considérés (> 70 ans), nous émettons l'hypothèse que les impacts environnementaux liés à la fabrication des matières existantes mises en œuvre sont amortis.



Source : Emilie Gobbo

Toiture

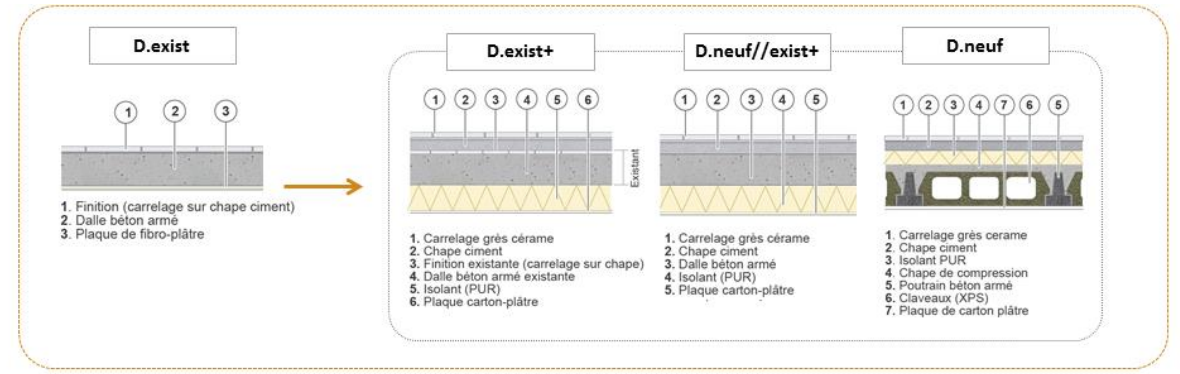
Illustration 12 : Bilan environnemental des parois types de la composante Toiture (à versant)

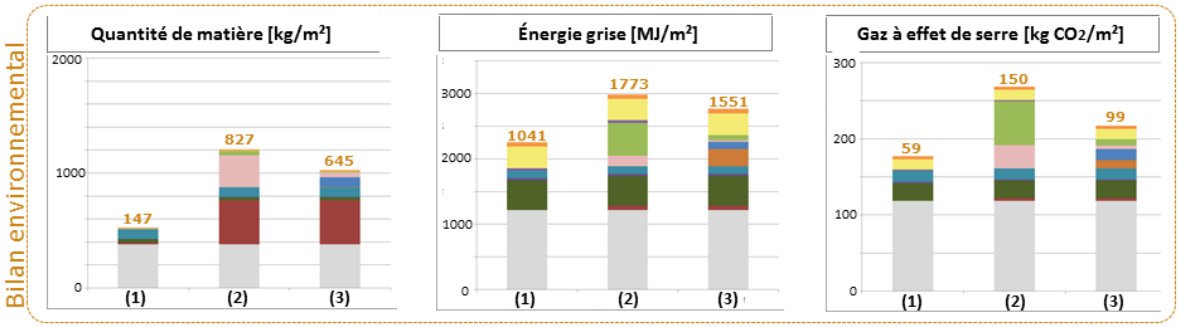


Source : Emilie Gobbo

Dalle

Illustration 13 : Bilan environnemental des parois types de la composante Dalle (sur cave)





Source : Emilie Gobbo

3.3 Discussions

Concernant l'indicateur Quantité de matières

Les tendances sont relativement similaires concernant les différentes composantes (façade, toiture, dalle). Effectivement, les quantités de matières à gérer sont évidemment beaucoup plus conséquentes en ce qui concerne les parois démolies et reconstruites, alors que les parois conservées et améliorées présentent des quantités à gérer bien moins importantes. Entre les solutions de démolition / reconstruction (2) et (3), la paroi (2) présente systématiquement un bilan plus défavorable que la troisième solution. Pour rappel, la paroi de type (2) concerne le cas de parois démolies et reconstruites « à l'identique » suivant le même principe constructif que la paroi existante améliorée (1). Alors que la paroi type (3), est reconstruite suivant un système constructif différent. Ces données nous informent donc sur les quantités de matière devant être gérées suivant la solution d'amélioration choisie. Cela signifie que dans le cas des parois types (2) et (3), une importante part de 'déchets' va devoir être évacuée et une quantité tout aussi importante de matériaux neufs va devoir être acheminée. Cela va avoir pour conséquence une augmentation du transport lié à l'acheminement et l'évacuation de ces matières avec tous les impacts environnementaux que cela implique.

Concernant l'indicateur Énergie grise

L'énergie grise représente l'énergie « cachée » d'un produit (matériau ou bâtiment). Elle correspond à l'énergie nécessaire à la production du produit et peut comprendre : la conception du produit, l'extraction de matières premières nécessaires à sa fabrication, le transport et la transformation préalables de ces dernières, le processus de fabrication, l'acheminement jusqu'aux points de vente et d'utilisation, la mise en œuvre et l'usage du produit, son traitement en fin de vie[21].

Ici encore les tendances sont similaires d'une composante à l'autre et rejoignent les constats précédemment cités. Les parois de type (2) sont les plus défavorables suivies par les parois de type (3). Les parois conservées et améliorées sont celles qui présentent le bilan en énergie grise le plus 'léger'. Notons que la phase d'élimination (en rouge foncé) présente un très faible impact en termes d'énergie grise comparativement à la phase de fabrication des matériaux neufs (autres couleurs).

Concernant l'indicateur Gaz à effet de serre

Les gaz à effet de serre (GES) sont des gaz absorbant une part des rayons solaires et qui les restituent sous forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre : phénomène de

[21] Définition inspirée de www.consoglobe.com et de l'ICEB (Institut pour la Conception Ecoresponsable de Bâti)

l'effet de serre. Une quarantaine de GES a été recensée par le GIEC (Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat) dont le dioxyde de carbone (CO_2) qui représente près de 70% des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique[22].

Comme dans le cas de l'énergie grise, la phase d'élimination (en rouge foncé) présente un impact presque insignifiant comparativement à la phase de fabrication des matériaux neufs (autres couleurs). Les résultats quant à ces derniers sont variables suivant les composantes et les parois types considérées. Ainsi, pour la composante façade, c'est la troisième paroi qui présente le bilan le plus 'favorable'. Pour la composante toiture, c'est la deuxième paroi qui présente même un bilan négatif. Et concernant la composante dalle, la première paroi est la moins coûteuse en CO_2. Comment expliquer ces variations importantes et surtout les valeurs négatives que nous pouvons observer sur les graphiques? Le choix et la nature des matériaux en sont responsables. En effet, dans les parois présentant des résultats négatifs, un matériau est récurrent, c'est le bois. Or, ce matériau est considéré comme un matériau stockant le dioxyde de carbone. C'est pourquoi nous retrouvons des résultats négatifs. Cependant, l'analyse ici opérée est une analyse *cradle to gate* considérant uniquement la phase de fabrication des matériaux neufs. Cela signifie que la phase d'élimination des éléments en bois n'est pas considérée dans les résultats. Dès lors, il est important de considérer ces résultats avec un certain recul car bien que stockant le CO_2, le bois est à l'heure actuelle le plus souvent incinéré en fin de vie. Tout le bénéfice lié au stockage du dioxyde de carbone est alors vain puisque l'impact de l'incinération en termes d'émissions est loin d'être favorable : le CO_2 initialement stocké est rejeté dans l'atmosphère par le processus d'élimination avec les impacts environnementaux négatifs que nous connaissons.

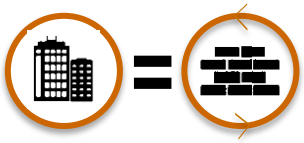
VI. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Cette recherche ne prétend pas combler les lacunes existantes en termes de données statistiques sur les réels stocks et flux matériels de la région. Néanmoins, elle propose d'intégrer cette nouvelle problématique qu'est celle de la matière dans la réflexion sur la rénovation énergétique du parc immobilier. En outre, l'étude du *bilan matière* ou *bilan métabolique* nous a permis de mettre en place une méthodologie applicable à d'autres projets de rénovation. L'analyse nous également permis d'identifier des tendances d'intervention de la rénovation durable ainsi que des flux potentiellement significatifs pour aujourd'hui et pour demain. Ce que la recherche propose est donc :

- D'introduire la problématique 'matière' dans la conception de projet (appréhendée sous forme de gisement, de flux et de matières valorisables) au même titre que la problématique énergétique qui est omniprésente dans tout projet architectural,
- D'introduire la notion de fin de vie dans la phase de conception, indispensable pour tendre vers un objectif de valorisation optimale
- D'appliquer une méthode d'analyse du bilan métabolique des opérations de rénovation, reproductible à d'autres projets,
- De générer d'une première batterie de données dont le but final est d'apporter une meilleure connaissance des ressources matérielles contenues dans nos bâtiments
- D'apporter une réflexion sur le potentiel de valorisation que pourraient constituer les éléments construits et de le mettre en corrélation avec leur bilan environnemental. Cette approche permettrait de conscientiser le secteur et les concepteurs dans le but de tendre vers une démarche plus globale et d'effectuer des choix responsables.

[22] Définition inspirée de www.actu-environnement.com

Les suites de la recherche en cours traiteront de cette notion de degré de *valorisabilité* et d'évaluation du *potentiel matière* ainsi que de l'identification des freins et opportunités liés à la valorisation maximale de la matière.



Au-delà du cadre de la présente étude, il serait intéressant d'approfondir la démarche ici initiée par l'analyse d'un nombre plus important de projets. Cela permettrait en effet de 'fiabiliser' les données récoltées pouvant servir d'outil de planification de gestion des flux matériels à échelle plus large. Nous pensons également qu'il est important d'étendre la méthode à d'autres typologies bâties ainsi qu'à d'autres systèmes que l'enveloppe, notamment les équipements et les techniques. L'implémentation dans des projets pilotes serait également profitable.

Cette recherche est un commencement. Pour qu'elle aie un impact positif et significatif à l'avenir sur la gestion de nos ressources et déchets à l'échelle régionale, une démarche prospective ainsi qu'une réflexion sur l'implication de chaque acteur sont nécessaires.

REMERCIEMENTS

Cette recherche est financée par InnovIris (Institut bruxellois pour la recherche et l'innovation) dans le cadre du programme Prospective Research for Brussels/Anticipate.

BIBLIOGRAPHIE INDICATIVE

[1] BARLES S., *L'invention des déchets urbains : France 1790-1970*, Champ Vallon, collection milieux, Seyssel, France, 2005, 297p

[2] BRAUNGART M., MCDONOUGH W., *Cradle to Cradle, créer et recycler à l'infini*, Alternatives Manifestô, Paris, France, 2011, 230p

[3] EUROPEAN COMMISSION, *Roadmap to a Resource Efficient Europe*, COM (2011) 571, Brussels, 20.9.2011

[4] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, *The European Environment, State and outlook 2010: Material Resources and Waste*, EEA-SOER 2010, Copenhagen, Danemark, 2010, 46p

[5] ERKMAN S., *Vers une écologie industrielle* (2ème édition), Charles Leopold Mayer, Paris, France, 2004, 256p

[6] HUYGEN J-M., *La poubelle et l'architecte: vers le réemploi des matériaux*, Actes Sud, Arles, France, 2008, 184p

[7] MASSARD G., *Les symbioses industrielles : une nouvelle stratégie pour l'amélioration de l'utilisation des ressources matérielles et énergétiques par les activités économiques*, Thèse de doctorat, Université de Lausanne (UNIL), Lausanne, Suisse, 2011, 372p

[8] NORDBY A.S., *Salvageability of building materials: Reasons, criteria and consequences regarding architectural design that facilitate reuse and recycling*, thèse de doctorat, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Trondheim, Norvège, avril 2009, 198p.

[9] PADUART A., *Re-design for change: a 4 dimensional renovation approach towards a dynamic and sustainable building stock*, Thèse de doctorat, Vrije Universiteit Brussel (VUB), VUBPRESS, Bruxelles, Belgique, avril 2012, 380p

[10] TRACHTE S., *Matériau, matière d'architecture soutenable : Choix responsable des matériaux de construction, pour une conception globale de l'architecture soutenable*, Thèse

de doctorat, Presses Universitaires de Louvain, Université Catholique de Louvain UCL, Louvain-la-Neuve, Belgique, 2012, 534p
[11] TRACHTE S., EVRARD A., GALAN A., ATHANASSIADIS A., *Assessing Sustainable Retrofit of the old Dwellings Stock in Brussels Capital Region*. PLEA2014 - SUSTAINABLE HABITAT FOR DEVELOPING SOCIETIES, Ahmedabad, India, 16-18/12/2014 (informations générales sur l'étude disponibles sur: http://www.brusselsretrofitxl.be/)