

Université de Liège – Faculté des sciences appliquées

Année académique 2011-2012



Comparaison environnementale entre la démolition et la rénovation du bâtiment

Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil
Architecte par Lentier Fanny

Promotrices : Reiter Sigrid - Rossi Barbara

Membres du Jury : Bleus Jean-Marie - Courard Luc – Hauglustaine Jean-Marie

Président du Jury : Leclercq Pierre

Université de Liège – Faculté des sciences appliquées

Année académique 2011-2012



Comparaison environnementale entre la démolition et la rénovation du bâtiment

**Travail de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de Master en Ingénieur Civil
Architecte par Lentier Fanny**

Promotrices : Reiter Sigrid / Rossi Barbara

Membres du Jury : Bleus Jean-Marie - Courard Luc – Hauglustaine Jean-Marie

Président du Jury : Leclercq Pierre

A ma maman,
mon bécherelle universelle.

A mon papa,
invincible dénicheur de bon plan.

A mon chéri,
clef de voûte de mon édifice.

A mon grand frère,
qui restera toujours mon grand « Goyi ».

A ma mamie,
on va enfin pouvoir se foutre une « cuite ».

Je vous aime très fort.

REMERCIEMENTS

Je veux exprimer, par ces simples mots, mes remerciements et ma gratitude à toutes les personnes qui m'ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de mon travail. Toutes ces personnes qui, depuis des mois, ont toujours été à mon écoute et se sont rendues disponibles dès que j'en exprimais la demande. Merci pour l'inspiration, l'aide et le temps que vous m'avez consacrés.

Je tiens à remercier sincèrement Madame Sigrig Reiter, en tant que Promotrice et Madame Barbara Rossi, en sa qualité de co-promotrice, qui m'ont également bien accompagnée et conseillée tout au long de la réalisation de ce mémoire. Merci aussi pour l'enthousiasme et la patience dont elles ont toujours fait preuve.

Un tout grand merci à Madame Julie Willem et Monsieur Gilles Durigneux pour leurs assistances techniques, leur disponibilité, leur chaleureux accueil, toutes choses qui m'ont permis de gagner un temps précieux.

J'exprime ma gratitude à tous les membres du jury, Messieurs Jean-Marie Bleus, Luc Courard, Jean-Marie Hauglustaine qui ont accepté de répondre à mes questions avec une grande compréhension et générosité.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur le Président du Jury Pierre Leclercq pour les encouragements qui m'ont soutenue tout au long de mes études.

Une pensée toute amicale également à Monsieur Dimitri Schmitz qui a toujours été disponible pour répondre au moindre de mes questions. Réponses qui ont toujours été accompagnées d'un soupçon d'humour.

Je n'oublie pas mes parents Jean-Marc Lentier et Françoise Staelens car sans eux cette petite aventure n'aurait pas pu être réalisable, merci pour leur contribution, leur soutien et leur patience. Je tiens à exprimer ma reconnaissance envers Michèle Lebeau et Guy Lapaille, qui ont eu l'extrême gentillesse de lire et corriger ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à tous mes proches, famille et amis qui m'ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire et tout au long de ces études.

Enfin, un merci tout particulier, à mon fiancé Quentin Pirlot, conducteur de travaux, qui a fait preuve de beaucoup de patience tout au long de mes études, merci pour ses encouragements plus que nécessaire dans les moments difficiles ainsi que ces conseils judicieux provenant de sa connaissance du monde de la construction.

Merci à toutes et tous.

Fanny LENTIER,

Juin 2012.

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|----|
| TABLE DES MATIERES | 6 |
| RESUME | 9 |
| 1. INTRODUCTION | 10 |
| 1.1. ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX | 10 |
| 1.2. Exigences sur les performances énergétiques du bâtiment | 11 |
| 1.2.1. Réglementation PEB en Belgique | 12 |
| 1.2.1.1. Région Wallonne | 13 |
| 1.2.1.2. Région flamande..... | 18 |
| 1.2.1.3. Région Bruxelles-capitale | 19 |
| 1.2.2. Certification PEB en Belgique. | 22 |
| 1.3. SUJET DU TFE..... | 22 |
| 1.3.1. problématique..... | 22 |
| 1.3.2. Méthode de calcul..... | 27 |
| 1.3.2.1. Objectifs..... | 27 |
| 1.3.2.2. Champ de l'étude | 27 |
| 1.3.2.2.1. système étudié | 27 |
| 1.3.2.2.2. Unité fonctionnelle..... | 28 |
| 1.3.2.2.3. Frontière du système..... | 28 |
| 1.3.2.3. Types d'impact | 31 |
| 2. ANALYSE EN CYCLE DE VIE..... | 32 |
| 2.1. LA METHODE | 32 |
| 2.1.1. Définition des objectifs et du champ de l'étude | 34 |
| 2.1.2. L'inventaire du cycle de vie (ICV)..... | 35 |
| 2.1.3. L'évaluation de l'impact du cycle de vie (ACVI)..... | 35 |
| 2.1.4. L'interprétation du cycle de vie..... | 37 |
| 2.2. ACV, Analyse en cycle de vie dans le secteur du bâtiment | 37 |
| 2.3. OUTILS D'acv appliques aux batiments..... | 41 |
| 3. UNITE FONCTIONNELLE..... | 43 |
| 3.1. CAS D'ETUDE | 43 |
| 3.1.1. Description générale du bâtiment étudié | 43 |
| 3.1.2. Morphologie du bâtiment | 45 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. QUELLES SONT LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES ? | 46 |
| 3.2.1. RENOVATION-DESCRIPTION DES INTERVENTIONS REALISEES | 46 |
| 3.2.1.1. La demolition partielle | 46 |
| 3.2.1.2. Le recyclage | 46 |
| 3.2.1.3. La rénovation..... | 51 |
| 3.2.1.3.1. Procédé d’isolation et précautions particulières | 51 |
| 3.2.1.3.2. Compositions des parois et exigence de la PEB pour le bâtiment rénové | 61 |
| 3.2.1.3.3. Techniques spéciales | 71 |
| 3.2.2. DEMOLITION/RECONSTRUCTION-DESCRIPTION DES INTERVENTIONS REALISEES..... | 72 |
| 3.2.2.1. La démolition totale | 72 |
| 3.2.2.2. Le recyclage | 76 |
| 3.2.2.3. La construction du nouveau bâtiment | 76 |
| 3.2.2.3.1. Calcul de descente de charge | 77 |
| 3.2.2.3.2. Calcul de la performance énergétique du bâtiment, méthode : PEB | 88 |
| 3.2.2.3.3. Composition des parois et exigences de la PEB pour le bâtiment neuf | 89 |
| 4. COMPLEMENTS APPORTES A L’OUTIL ACV | 93 |
| 4.1. ELABORATION DE NOUVELLES FEUILLES EXCEL | 95 |
| 4.1.1. PHASE DE DEMOLITION | 97 |
| 4.1.1.1. DEMOLITION..... | 97 |
| 4.1.1.2. MOYEN D’EXECUTION ET EVACUATION DES DECHETS | 103 |
| 4.1.1.3. RECYCLAGE | 108 |
| 4.1.2. PHASE DE RENOVATION/RECONSTRUCTION | 109 |
| 4.1.2.1. CHANTIER RENOVATION/RECONSTRUCTION..... | 109 |
| 4.1.2.2. COMPOSITIONS DES PAROIS ET VALEURS DE U | 109 |
| 4.1.2.3. MOYEN D’EXECUTION ET TRANSPORT DE NOUVEAUX MATERIAUX..... | 110 |
| 5. DISCUSSION des trois critères de durabilité sur base d’une comparaison entre le choix d’une rénovation ou d’une démolition/reconstruction | 113 |
| 5.1. COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE | 113 |
| 5.2. COMPARAISON ECONOMIQUE | 152 |
| 5.3. COMPARAISON SOCIALE | 153 |
| 6. CONCLUSION. | 154 |
| 7. PERSPECTIVES..... | 156 |
| 8. TABLE DES FIGURES..... | 157 |
| 9. TABLE DES TABLEAUX..... | 162 |

| | | |
|-----|-----------------------------------|-----|
| 10. | ANNEXES..... | 164 |
| 11. | REFERENCES | 165 |
| 12. | PORTAILS INTERNET CONSULTES | 169 |
| 13. | REUNION | 170 |

RESUME

Ce travail de fin d'étude met en évidence les limites de la réglementation en vigueur pour la seule phase d'utilisation du bâtiment. Malheureusement, même si cette phase reste très importante, ceci ne permet pas de pallier à tous les impacts environnementaux générés par une construction. Il est donc de notre devoir de commencer à réfléchir sur l'ensemble du procédé de la construction.

Comme nous le verrons, de manière à atteindre les exigences de l'Union européenne fixée en matière d'environnement, il devient nécessaire d'apporter une nouvelle réflexion sur le stock existant. Comment devrons-nous agir face à ce stock ancien ? Est-il préférable de rénover ou de démolir pour reconstruire un nouveau bâtiment ?

Ce travail essayera de répondre le plus clairement possible à cette question, en étudiant comme cas particulier : l'immeuble de bureaux du CPAS de Forest construit, en région de Bruxelles-Capital, dans les années 1930. Il abordera les phases de démolition, transport des déchets, recyclage, extraction/fabrication des matériaux, transport des nouveaux matériaux jusqu'au site de construction et enfin, la phase de chantier de reconstruction ou de rénovation selon le scénario choisi. L'étude se terminera à la réception du bâtiment. Le choix d'étude s'orientera sur deux indicateurs d'impacts, à savoir, la demande en énergie et le potentiel de réchauffement global.

Ce travail permettra donc de comparer dans le cas du CPAS de Forest quelle est la solution la plus favorable entre rénovation ou démolition/reconstruction du point de vue des trois critères de durabilité : environnement, économie, social.

Une réflexion plus poussée me permettra par la suite de compléter l'outil « LCA basi tool » développé par le Professeur Mauritz Glaumann de l'Université de Gävle et parachevé par Madame Barbara Rossi de l'Université de Liège. Ce logiciel pourra dès lors être utilisé de façon plus large en permettant à chaque concepteur d'encoder ses propres données à condition de rester dans des caractéristiques similaires au bâtiment étudié dans le cadre de ce TFE. (bâtiment de quelques niveaux, construit en matériaux traditionnels)

1. INTRODUCTION

1.1. ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX

Depuis le 25 mars 2002, l'Union européenne s'est engagée à suivre et à respecter le protocole de Kyoto sur les changements climatiques. En effet, la problématique du changement climatique est devenue d'une importance majeure et capitale quant au devenir de notre planète ainsi que des générations futures. [CE 2002, Décision 358]

Dans l'intérêt de garantir le sort de notre monde, l'Union européenne vise dans ses objectifs premiers, la réduction des gaz à effet de serre de ses Etats membres. Afin d'amener l'Europe sur la voie d'un avenir durable celle-ci met en œuvre plusieurs actions.

En comparaison avec l'année 1990, l'Union européenne s'engage à : [CE 2009, Décision 406]

- réduire les gaz à effet de serre de 20% ;
- utiliser le plus possible les énergies renouvelables d'une façon plus efficace (la part de ces dernières devra être de l'ordre des 20%) ;
- réduire la consommation d'énergie polluante de 20%, notamment en privilégiant les installations ménagères peu énergivores.

Ces objectifs devront être atteints pour 2020 afin de limiter le réchauffement planétaire avant que celui-ci ne soit totalement irréversible. [CE 2009, Décision 406]

Pour notre pays, force est de constater que nous sommes en retard par rapport à nos voisins que ce soit du point de vue de la consommation d'énergie primaire mais notamment du point de vue de la performance énergétique. Ceci est un réel problème, puisque rappelons que les émissions des gaz à effets de serre sont fortement corrélées à ceux-ci. La Belgique est donc, actuellement dans la prise de conscience de l'utilisation censée de l'énergie. [De Meester 2009] Il en était grand temps.

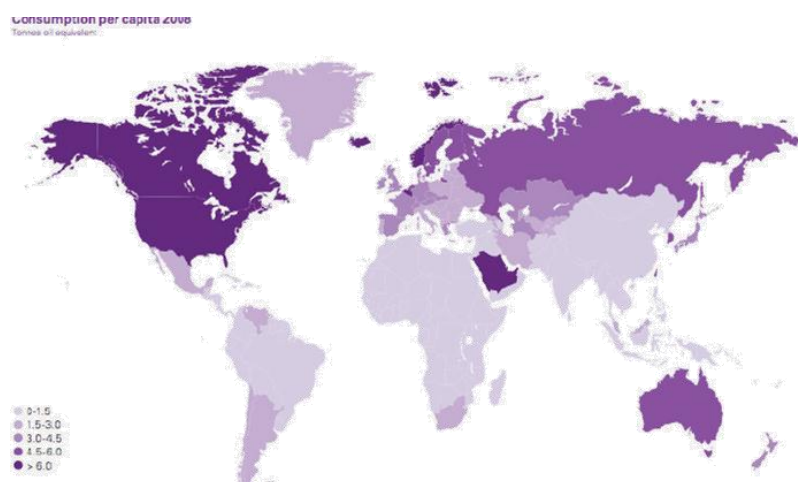


Figure 1 : Consommation d'énergie primaire mondiale en 2008 (en tonnes équivalent de pétrole)

Source : BP Statistical Review of World Energy June 2009

Pour en être conscient, il suffit d'avoir un regard critique sur les différentes statistiques réalisées. On remarque ainsi, que pour notre pays, la consommation dépasse la moyenne européenne voire même mondiale. Ceci s'explique par l'importance de trois secteurs fortement présents chez nous,

- l'industrie ;
- le transport (le parc routier étant caractérisé par sa forte densification) ;
- le logement.

Pour le dernier point notamment, si on regarde de plus près la consommation d'énergie ainsi que l'émission des gaz à effet de serre, on remarque en quelques chiffres, que le secteur du bâtiment, en 2005, représente 31,5% de la consommation totale en Wallonie et ce, sans prendre en compte l'énergie nécessaire pour le transport selon l'implantation du bâtiment et les émissions de gaz à effet de serre associées. [Evrard A. 2010]

Pour information, durant l'année 2005, la consommation en énergie a été chiffrée à 153,1 TWh pour l'ensemble des secteurs. Au niveau des émissions de gaz à effet de serre, le secteur du bâtiment représente 17% de l'émission totale de la Wallonie (cette dernière a été chiffrée par la Direction Générale des Ressources Naturelles de l'Environnement (DGRNE) à 51,8 millions de tonnes éq. CO₂) tous secteurs confondus. Ces résultats, assez conséquents concernant le secteur du logement sont, en général, les causes d'une mauvaise isolation de celui-ci ainsi que de l'importance de la période de « chauffe » dans notre pays. [Evrard A. 2010]

1.2. EXIGENCES SUR LES PERFORMANCES ENERGETIQUES DU BATIMENT

Au vu des chiffres présentés précédemment, le bâtiment joue un rôle important dans le but d'atteindre les objectifs d'économie d'énergie et de diminuer les émissions de polluants contribuant au changement climatique.

Afin de réaliser ces différents objectifs et aussi sensibiliser la population dans l'investissement d'un avenir durable, une Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments a vu le jour. [CE du Conseil. 2002, Décision 91]

Cette Directive européenne traduite en réglementation régionale, permet aujourd'hui d'atteindre des exigences minimales au niveau des performances énergétiques des bâtiments neufs ainsi que pour les projets de rénovation soumis à une rénovation importante et supérieure à 1.000 m². Son application en Belgique pourrait, dans les prochaines années, être étendue à toutes les rénovations nécessitant un permis d'urbanisme.

La certification imposée par la Directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments permet de mieux caractériser le parc immobilier existant au niveau énergétique pendant la phase d'utilisation et ainsi de sensibiliser tout intervenant. [Meester. 2009]

Cependant, cette certification n'impose aucune mesure de réduction des consommations énergétiques. Elle est purement informative. La certification de la performance énergétique du bâtiment, PEB (documents d'information et de sensibilisation de la population par rapport aux consommations énergétiques des logements en phase d'utilisation), doit être réalisée lors de la

construction, de la vente ou de la location du bien. Elle sera accompagnée d'inspections régulières des installations de chauffage et de conditionnement d'air. [CE 2002, Décision 91]

Il est important de souligner qu'on retrouve des différences considérables dans la consommation de différents bâtiments, [MEMO.2008]

- Pour certaines constructions neuves, 3 à 5 litres de fuel (ou équivalent) par mètre carré par an suffisent pendant la phase d'utilisation.
- Alors que pour des bâtiments plus anciens, on peut atteindre les 25 litres par mètre carré par an, voire même les 60 litres pour les cas extrêmes.

Ainsi dans les pays Etats membres de l'Union européenne, on peut voir aujourd'hui émerger différents systèmes de réglementation et de certification PEB (pour performance énergétique des bâtiments).

Afin de limiter également les consommations énergétiques des bâtiments, de nouveaux matériaux de construction ainsi que de nouvelles techniques d'installations sont aujourd'hui à notre disposition et continuent à se développer.

1.2.1. RÉGLEMENTATION PEB EN BELGIQUE

La réglementation PEB en Belgique est établie de manière différente dans les trois Régions. On retrouve des exigences différentes pour la Région flamande, la Région wallonne et la Région de Bruxelles-Capitale.

Bien que ces trois Régions disposent de leur propre système de réglementation, elles conservent les mêmes limites en ne s'appliquant uniquement qu'à la phase d'utilisation du bâtiment.

De la même manière, elles prennent seulement en compte la demande en énergie, en négligeant tous les autres impacts environnementaux. A l'heure actuelle, comme nous l'avons déjà précisé précédemment la réglementation belge est d'application pour les bâtiments neufs et les rénovations importantes supérieures à 1.000m². Pour les trois Régions belges, un tableau, disponible sur le site du CSTC (centre scientifique et technique de la construction) résume les exigences sur les valeurs maximales admissibles pour le coefficient de transmission thermique U ou les valeurs minimales de la résistance thermique R des différentes parois constituant le bâtiment. Celles-ci sont d'application depuis le 1^{er} janvier 2010,

| Élément de construction | U_{max} (W/m²K) | R_{min} (m²K/W) |
|--|---|----------------------|
| 1. PAROIS DELIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ, à l'exception des parois formant la séparation avec un volume protégé adjacent. | | |
| 1.1. PAROIS TRANSPARENTES/TRANSLUCIDES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3), des façades légères ⁽¹⁾ / murs-rideaux ⁽²⁾ (voir 1.4) et des parois en briques de verre (voir 1.5) | $U_{W,max} = 2.5$ $U_{g,max} = 1.6$ | |
| 1.2. PAROIS OPAQUES, à l'exception des portes et portes de garage (voir 1.3) et des façades légères ⁽¹⁾ / murs-rideaux ⁽²⁾ (voir 1.4) | | |
| 1.2.1. toitures et plafonds | 0.3 | |
| 1.2.2. murs non en contact avec le sol, à l'exception des murs visés en 1.2.4. | 0.4 | |
| 1.2.3. murs en contact avec le sol | | 1.0 |
| 1.2.4. parois verticales et en pente en contact avec un vide sanitaire ou avec une cave en dehors du volume protégé | | 1.0 |
| 1.2.5. planchers en contact avec l'environnement extérieur | 0.6 | |
| 1.2.6. autres planchers (planchers sur terre-plein, au-dessus d'un vide sanitaire ou au-dessus d'une cave en dehors du volume protégé, planchers de cave enterrés) | 0.4 | 1.0 |
| 1.3. PORTES ET PORTES DE GARAGE (cadre inclus) | $U_{D,max} = 2.9$ | |
| 1.4. FAÇADES LÉGÈRES ⁽¹⁾ / MURS-RIDEAUX ⁽²⁾ | $U_{DW,max} = 2.9$ $U_{g,max} = 1.6$ | |
| 1.5. PAROIS EN BRIQUES DE VERRE | 3.5 | |
| 2. PAROIS ENTRE 2 VOLUMES PROTEGES SITUES SUR DES PARCELLES ADJACENTES | 1.0 | |
| 3. LES PAROIS OPAQUES SUIVANTES A L'INTERIEUR DU VOLUME PROTÉGÉ OU ADJACENT À UN VOLUME PROTÉGÉ SUR LA MÊME PARCELLE à l'exception des portes et portes de garage: 3.1. ENTRE UNITÉS D'HABITATION DISTINCTES 3.2. ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES COMMUNS (cage d'escalier, hall d'entrée, couloirs, ...) 3.3. ENTRE UNITÉS D'HABITATION ET ESPACES À AFFECTATION NON RÉSIDENTIELLE 3.4. ENTRE ESPACES À AFFECTATION INDUSTRIELLE ET ESPACES À AFFECTATION NON INDUSTRIELLE | 1.0 | |
| ⁽¹⁾ Région wallonne et Région flamande ⁽²⁾ Région de Bruxelles-Capitale | | |

Tableau 1 : Valeurs U maximales admissibles (W/m²K) ou valeurs R minimales (m²K/W) à réaliser en Région de Bruxelles-Capitale, en région Wallonne et en région flamande. [CSTC.2011]

Parcourons, brièvement, les exigences PEB, attachées aux bâtiments neufs ou rénovés d'affectation de type bureaux, selon les trois Régions belges. On soulignera également, les adaptations importantes que les différentes régions ont connues au cours du temps.

1.2.1.1. RÉGION WALLONNE

A. Les exigences en vigueur en matière d'exigence thermique à respecter pour les **bâtiments neufs**¹ à savoir les immeubles de bureaux et de services ainsi que les bâtiments destinés à l'enseignement sont :

- Pour l'isolation thermique :

¹ Egalement d'application pour tous les bâtiments faisant l'objet d'actes et travaux de reconstruction ou d'extension soumis à permis, et qui consistent à créer une unité d'habitation ou un volume protégé supérieur à 800 m³.

- maximum K 45
- U max ou R min

Pour la performance énergétique :

- maximum E w 80
- Pour le climat intérieur :
- Un dispositif de ventilation (non résidentiel)

B. Les exigences en matière d'exigences thermiques à respecter pour les **travaux de rénovation importants ou simples**, à savoir les immeubles de bureaux et de services ainsi que les bâtiments destinés à l'enseignement sont :

- Pour l'isolation thermique :
- U max ou R min (éléments rénovés)
- Pour la performance énergétique :
- Rien de prévu.
- Pour le climat intérieur :
- Amenées d'air (non résidentiel) dans les locaux où les châssis de fenêtres ou de portes extérieurs sont remplacés.

Cette préoccupation d'une meilleure performance énergétique du bâtiment ne date pas d'aujourd'hui puisqu'en 1985 la Région wallonne émet déjà des exigences relatives à l'isolation thermique. [Portail de l'énergie en Wallonie.2012]

En 1996, des exigences pour la ventilation sont d'application pour les bâtiments neufs.

On retrouve ainsi une limitation des déperditions thermiques au travers de chaque paroi délimitant le volume protégé du bâtiment. Celle-ci est traduite aujourd'hui par un coefficient de transmission thermique relatif à chaque paroi U_{max} . Il en découle donc, le niveau K du bâtiment c'est-à-dire le niveau d'isolation thermique globale du bâtiment qui est déterminé par les caractéristiques d'isolations des éléments de construction mais aussi par la compacité du bâtiment. [Portail de l'énergie en Wallonie.2012]

Ainsi, le niveau K s'obtient de la manière suivante:

| | | |
|------------------|-------|---------------------------------|
| Si $c < 1$ | alors | $K = 100 * U_{moy}$ |
| Si $1 < c < 4,5$ | alors | $K = \frac{300 * U_{moy}}{c+2}$ |
| Si $c > 4,5$ | alors | $K = 50 * U_{moy}$ |

Avec,

- la compacité, c , qui représente le rapport entre le volume total du bâtiment et la somme des aires des parois par lesquelles se réalisent les déperditions de chaleur, il s'exprime donc en mètre.
- Le coefficient de transmission thermique moyen, $U_{moy} = \frac{\sum_i A_i \cdot U_i}{\sum_i A_i}$, ce dernier est quant à lui exprimé en $W/m^2.K$

Au cours du temps, on voit augmenter les exigences de ce niveau. Passant de K70 en 1985 à K55 depuis 1996 et K45 au 1^{er} septembre 2008. [Portail de l'énergie en Wallonie.2012]

De la même manière, on retrouve, dans les exigences, la mise en place d'une ventilation contrôlée du bâtiment, assurant le renouvellement d'air en maintenant une bonne qualité de l'air intérieur. Elle permet ainsi de répondre à un meilleur confort des occupants et de maintenir l'environnement en réduisant les consommations d'énergie et les émissions de CO₂.

Pour répondre à cette négligence et satisfaire à la Directive européenne (2002/91/CE), le Parlement wallon adopte son décret PEB en date du 19 avril 2007. [Région wallonne. 2008]

Un an après, émergent également, la méthode de calcul, les exigences, les agréments ainsi que les sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments. Dans cette logique, il ne suffit plus d'isoler. Pour le bâtiment neuf, la réglementation PEB wallonne prend en outre, en compte les différents équipements tels que le chauffage, l'éclairage, le refroidissement, l'exposition solaire,... [Région wallonne. 2008]

Cette réglementation suit une évolution importante au cours de ces dernières années comme on peut le voir en parcourant les différentes chartes à ce sujet. cfr [Région wallonne. 2008] & [Région wallonne. 2011] Voici deux lignes du temps qui résument bien cette progression. La première s'applique au bâtiment de bureaux neufs et met en évidence les exigences supplémentaires concernant le bâtiment de logement (cfr couleurs). La deuxième est quant à elle, représentative de l'évolution des exigences concernant le bâtiment de bureaux rénovés.

| 1 ^{er} septembre 2008 | 1 ^{er} septembre 2011 | | |
|--|---|--|---------------------------|
| <p>K : 45</p> <p>U_{max} (NBN62-002)</p> <p>U_{mur} : 0,5/0,6/0,9</p> <p>U_{toit} : 0,3</p> <p>U_{plancher/sol} : 0,6/ 0,9</p> <p>U_{porte} : 2,9</p> <p>U_{fenêtre} : 2,5/1,6</p> <p>U_{mitoyen} : 1</p> <p>Ventilation cfr An.V AGW 17.04.2008</p> | <p>K ≤ 45</p> <p>U : Suivi de l'annexe III de l'AGW du 17.04.2010</p> <p>U_{mur} : 0,4</p> <p>U_{toit} : 0,3</p> <p>U_{plancher/sol} : 0,6/ 0,4</p> <p>U_{porte} : 2,9</p> <p>U_{fenêtre} : 2,5/1,6</p> <p>U_{mitoyen} : 1</p> <p>Ventilation cfr An.VI AGW 17.04.2008</p> <p>E_w ≤ 80</p> <p>E_{spéc} < 130 kWh/m².an</p> <p>Risque de surchauffe ≤ 17.500Kh</p> | | |
| | | | |
| | <p>K : 45</p> <p>U_{mur} : 0,4</p> <p>U_{toit} : 0,3</p> <p>U_{plancher/sol} : 0,6/ 0,4</p> <p>U_{porte} : 2,9</p> <p>U_{fenêtre} : 2,5/1,6</p> <p>U_{mitoyen} : 1</p> <p>Ventilation cfr An.VI AGW 17.04.2008</p> <p>E_w ≤ 100</p> <p>E_{spéc} < 170 kWh/m².an</p> <p>Surchauffe < 17500 Kh/an</p> <p>Outil PEB</p> | <p>K ≤ 45</p> <p>U_{mur} : 0,32</p> <p>U_{toit} : 0,27</p> <p>U_{plancher/sol} : 0,35</p> <p>U_{porte} : 2,2</p> <p>U_{fenêtre} : 2,2/1,3</p> <p>U_{mitoyen} : 1</p> <p>Ventilation cfr An.VI AGW 17.04.2008</p> <p>E_w ≤ 100</p> <p>E_{spéc} < 170 kWh/m².an</p> <p>Surchauffe < 17500 Kh/an</p> <p>noeuds constructifs</p> <p>Outil PEB</p> | |
| | 1 ^{er} mai 2010 | | 1 ^{er} juin 2012 |

Figure 2 : Evolution des exigences PEB en ce qui concerne le bâtiment neuf en secteur tertiaire et du logement

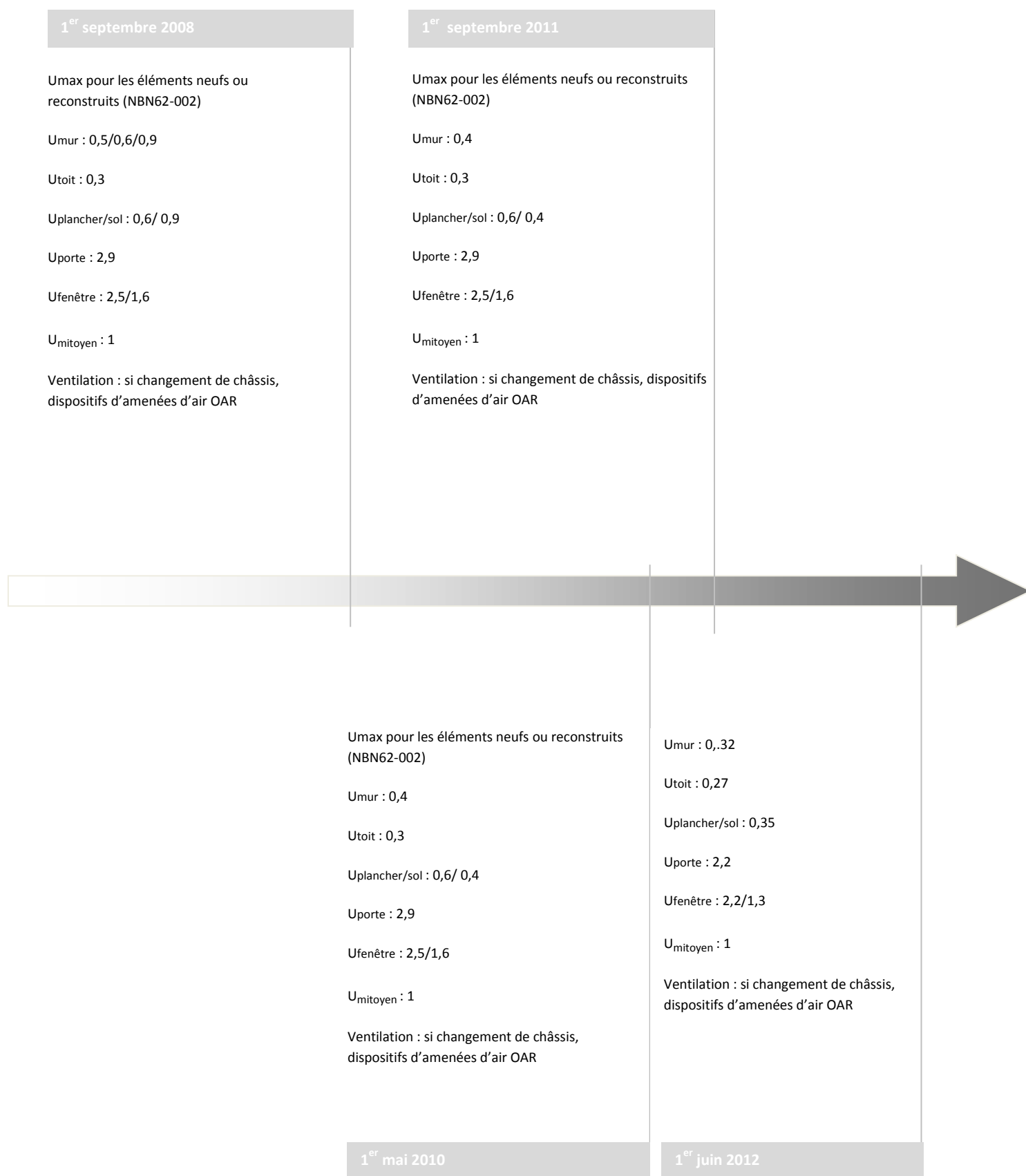


Figure 3 : Evolution des exigences PEB en ce qui concerne le bâtiment rénové en secteur tertiaire

Ainsi, l'exigence qui devra être mise en application dépendra de la date de dépôt du permis d'urbanisme.

Comme on peut le voir ci-dessus, les exigences existant sur la ventilation, seront différentes en ce qui concerne le logement et le tertiaire. Puisque le premier s'appliquera à l'annexe V de l'Arrêté wallon du 17 avril 2008 tandis que l'autre suivra les exigences rencontrées dans l'annexe VI du même Arrêté.

En dernier lieu, on retrouve les indicateurs E_w et $E_{spéc}$ [Arrêté du Gouvernement wallon.2008]

Le niveau E_w est obtenu en divisant la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire E du volume protégé (MJ/an) par une valeur de référence, le tout est ensuite multiplié par 100 (cfr. L'annexe 1 de l'Arrêté du Gouvernement wallon. 2008) E_w représente le niveau de performance énergétique global du bâtiment. (Il met en évidence la relation entre l'énergie primaire provenant directement de notre planète et l'énergie qui est directement utilisable après transformation adéquate). Elle caractérise, ainsi, les besoins annuels pour le chauffage, l'eau chaude,... en déduisant l'énergie positive provenant des énergies renouvelables et de la cogénération.

L'indicateur $E_{spéc}$ représente quant à lui, la consommation spécifique, par le rapport de E sur la surface totale de plancher chauffé. Il est exprimé en kWh/m².an. Ce dernier indicateur, ne subit pas d'exigence particulière dans le bâtiment tertiaire mais est à considérer pour le logement.

1.2.1.2. RÉGION FLAMANDE

En Région flamande c'est bien plus tard que l'on commence à légiférer l'isolation thermique. En effet, les premières exigences concernant cette dernière s'établissent en 1992. Aujourd'hui, voici ce que les exigences recommandent pour le bâtiment tertiaire.[CSTC.2010]

Les textes en vigueur en matière d'exigence thermique à respecter pour les **bâtiments neufs**² à savoir les immeubles de bureaux et de services ainsi que les bâtiments destinés à l'enseignement sont :

A. Pour les bâtiments neufs²

² Egalement d'application pour la reconstruction après démolition complète d'un bâtiment, l'extension ou la reconstruction partielle qui consiste à ajouter une ou plusieurs unités de logement supplémentaires, l'extension ou la reconstruction partielle relative à un volume protégé supérieur de 800 m³, la transformation d'un bâtiment dont le volume protégé est supérieur à 3.000 m³, quand la structure portante du bâtiment est conservée mais que les installations permettant d'obtenir un climat intérieur spécifique, et au moins 75% des façades sont remplacées.

- l'isolation thermique où la norme fixée auparavant à K 45 maximum, a été diminuée dès le 1^{er} janvier 2012, à maximum K 40. Un coefficient de transmission thermique fixé, lui, à U maximal ou une résistance thermique des parois fixée à - R minimale.
- la performance énergétique est passée, elle, de maximum E 100, à maximum E 70 en date du 1^{er} janvier 2012, pour ensuite, être amenée à diminuer encore à l'avenir jusqu'à E60 et ce, à dater du 1^{er} janvier 2014.
- un dispositif de ventilation (non résidentiel) est prévu pour favoriser le climat intérieur et ainsi, assurer le renouvellement d'air induisant une bonne qualité d'air intérieur.

B. Pour les travaux d'extension ou de reconstruction partielle (1) lorsque le volume protégé de l'extension est inférieur ou égal à 800 m3 et que l'extension ne consiste pas en l'ajout d'une ou de plusieurs unités d'habitation. Les exigences s'appliquent à la partie ajoutée nouvellement construite ou à la partie reconstruite.

- l'isolation thermique : U maximum (soit la transmission thermique des parois) ou R minimum (la résistance thermique des parois).
- aucun critère n'est, par contre, établi au niveau de la performance énergétique.
- Pour le climat intérieur, un dispositif de ventilation (non résidentiel) est, comme pour les bâtiments neufs (toujours pour les mêmes améliorations : voir le point des bâtiments neufs ci-dessus).

C. Les exigences en matière d'exigences thermiques à respecter pour les transformations³ dans les immeubles de bureaux et bâtiments scolaires) sont :

- l'isolation thermique : U maximum (soit la transmission thermique des parois) ou R minimum (la résistance thermique des parois pour les parties nouvelles, rénovées et transformées.) aucun critère n'est, par contre, établi au niveau de la performance énergétique.
- Une amenée d'air (non résidentiel) est prévue dans les locaux où l'on remplace ou ajoute des fenêtres, toujours en vue de favoriser le climat intérieur.

En ce qui concerne la Région flamande, on remarque l'évolution importante des exigences sur les coefficients de transmission thermique des parois. (cfr. CSTC. 2010)

1.2.1.3. REGION BRUXELLES-CAPITALE

³ Pas d'application pour un bâtiment dont le volume protégé est supérieur à 3.000 m3, quand la structure portante du bâtiment est conservée, mais que les installations permettant d'obtenir un climat intérieur spécifique, et au moins 75% des façades sont remplacés.

Pour la Région de Bruxelles-Capitale, les exigences en termes d'isolation thermique des bâtiments arrivent en 1999.

Dans son Ordonnance du 7 juin 2007, la Région Bruxelles-Capitale a commencé à adopter la Directive européenne (2002/91/CE) concernant la performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments.

Le secteur tertiaire et le logement représentent 70% des consommations énergétiques globales de cette Région. L'Ordonnance ainsi établie, apparaît comme primordiale afin de diminuer ces consommations. [IBGE.2007]

Elle répond également aux exigences concernant les performances énergétiques des bâtiments et représente la quantité d'énergie nécessaire aux différents besoins durant la phase d'utilisation du bâtiment.

Cette nouvelle Ordonnance se développe, en plusieurs phases, selon le secteur concerné. C'est à partir de juillet 2008, que le texte rentre en vigueur pour les bâtiments neufs et rénovés en distinguant le type de travaux (bâtiments neufs, rénovations lourdes, rénovations simples) et la destination du bien (logements, bureaux,...). [IBGE.2007]

Selon le cas, différentes exigences sont envisagées comme : [IBGE.2007]

- le niveau de performance énergétique global (niveau E maximal) ;
- le niveau d'isolation thermique global (K maximum) ;
- la résistance thermique des parois (R minimal) ou le coefficient de transmission thermique des parois (U maximum), les dispositifs de ventilation, les exigences sur les installations techniques.

Ensuite on peut voir apparaître :

- L'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale, du 21 décembre 2007, déterminant des exigences en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments, qui comprend 12 exigences PEB, est entré en vigueur depuis le 2 juillet 2008.
- L'Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale du 3 juin 2010 et celui du 5 mai 2011, le complètent en relatant les exigences PEB applicables aux systèmes de chauffage pour le bâtiment lors de leur installation et pendant leur exploitation.

Parcourons les différentes exigences concernant le tertiaire dans cette Région : [CSTC.2010]

A. Les exigences en vigueur en matière d'exigence thermique à respecter pour les **bâtiments neufs**⁴ à savoir les bureaux et de services ainsi que l'enseignement sont :

- Pour l'isolation thermique :

- maximum K 45
- U max ou R min

- Pour la performance énergétique :

- maximum E 75 et à partir du 01/01/2015

* consommation d'énergie primaire totale inférieure à $(90 - 2,5^*)$ KWH/m².an (5) = **c'étant défini comme la compacité, c'ad le rapport entre le volume protégé et la superficie de déperdition**

* étanchéité à l'air sous 50 Pa inférieure à 0,6 renouvellement par heure

* besoin net de chauffage inférieur à 15 Kwh/m².an

* besoin net de refroidissement inférieur inférieur à 15 Kwh/m².an

- Pour le climat intérieur :

- un dispositif de ventilation (non résidentiel)
- une température de surchauffe qui ne peut dépasser les 25° C que pendant, 5% de la période d'utilisation (à partir du 01/01/2015).

B. Les exigences en matière d'exigences thermiques à respecter pour les **rénovations lourdes et simples (y compris certains changements d'affectation, à savoir les bureaux et de services et l'enseignement)** sont :

- Pour l'isolation thermique :

- U max ou R min

- Pour la performance énergétique :

- Rien de prévu

⁴ Egalement d'application pour tout bâtiment reconstruit, toute reconstruction partielle d'un bâtiment existant d'une superficie de plus de 250 m² ou comportant au moins une habitation, toute extension nouvellement construite d'un bâtiment existant d'une superficie de plus de 250 m² ou comportant au moins une habitation.

- Pour le climat intérieur :
 - En cas d'ajout, de suppression ou de remplacement des fenêtres et pour tout local nouvellement créé : dispositifs d'amenée ou d'évacuation d'air (non résidentiel)

Le Logiciel utilisé, pour la Région de Bruxelles-Capitale, est le suivant, EPB-software Bruxelles.

1.2.2. CERTIFICATION PEB EN BELGIQUE.

Le certificat PEB est exprimé sur base d'une évaluation de la performance énergétique globale d'un bâtiment. Il a pour but d'informer le locataire ou acheteur du bâtiment sur le potentiel de ce dernier. Il est établi sur base de la déclaration PEB qui est quant à elle réalisée par le conseiller PEB. Cette dernière décrit, pour le bâtiment tel que construit, les mesures qui ont été prises en vue du respect des exigences PEB et détermine par calcul si ces exigences sont respectées.

Pour les bâtiments publics, d'une superficie supérieure à 1000m², l'affichage du certificat de performance énergétique du bâtiment doit être visible pour le public. Cette certification comprendra également des recommandations pour l'amélioration de la performance énergétique du bâtiment. Par contre, elle n'imposera, en aucun cas, l'obligation de réaliser des travaux en vue de répondre aux exigences énergétiques particulières. [Portail de l'énergie en Wallonie.2012]

1.3. SUJET DU TFE

En réponse aux limites actuelles de la réglementation et de la certification PEB en Belgique, ce TFE abordera la performance environnementale des bâtiments dans ses aspects d'analyse en cycle de vie et de rénovation des bâtiments. Vu l'ancienneté et la très faible performance énergétique du stock bâti belge mais aussi européen, une question importante se pose aujourd'hui sur l'intérêt et les limites des rénovations énergétiques des bâtiments par comparaison à leur destruction et reconstruction.

1.3.1. PROBLÉMATIQUE

Une cartographie de la Belgique nous permet de visualiser la concentration des anciens logements qui est loin d'être homogène. Cela dépend en effet, de l'histoire de l'urbanisation du pays. Comme on peut le voir ci-dessous, la Wallonie suivie de la Région Bruxelles-Capitale présente le parc immobilier le plus ancien. [Kints. 2008]

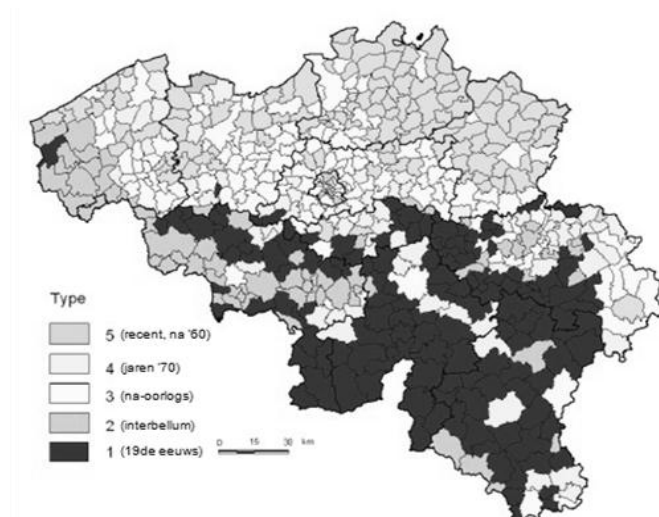


Figure 4 : Répartition de l'âge du bâti en Belgique [ESE. 2001]

Lorsque l'on regarde, en particulier, l'analyse du parc bâti à Bruxelles réalisé en 2002 par l'IBGE, on constate que cette Région compte 472.000 logements dont, 72% se trouvent dans des immeubles d'appartements et 28% sont des maisons unifamiliales. 175.373 bâtiments dont 6.008 ont une superficie supérieure à 1.000m². Ces derniers rentrent donc, en cas de rénovation importante, comme nous l'avons vu précédemment dans la réglementation PEB. On retrouve ensuite, les immeubles de bureaux représentant 12.292 bâtiments parmi lesquels, 1.866 ont une superficie supérieure à 1.000m². Viennent après, les bâtiments abritant diverses fonctions telles que les écoles, les hôpitaux,... . Ceux-ci couvrent 39.581 bâtiments dont 3.302 ont une superficie supérieure à 1.000m². Les 9.008 bâtiments restant sont utilisés comme ateliers, usines,... dont 1.087 avec une superficie supérieure à 1.000m². (Remarque : Il est évident que parmi les chiffres cités ci-dessus, certains bâtiments sont utilisés de façon mixte (tertiaire + logement). 32.154 bâtiments sont déjà répertoriés dans cette rubrique, dont 3.522 ont une superficie supérieure à 1.000m².) [Deuxant et al.2007]

Sachant que 80% du parc construit à Bruxelles date d'avant 1971, connaissant la répartition des usages des bâtiments sur la Région Bruxelles-Capitale et chiffrant le nombre de bâtiments supérieurs à 1.000 m² à 12.263 pour la Région seule, de Bruxelles, on prouve bien le potentiel important de la rénovation de ces bâtiments afin, de réduire de façon considérable, les émissions de CO₂ ainsi que la consommation d'énergie et arriver ainsi aux objectifs exigés.

A l'heure actuelle, le pourcentage encore important de bâtiments anciens se trouvant toujours à l'état initial de leur construction, donne la possibilité d'améliorer de manière importante leur performance énergétique et ainsi d'améliorer les performances globales du territoire belge.

En effet, durant le cours des siècles, la méthode de construction du mur a connu différentes améliorations. De la construction massive réalisée à partir des matériaux locaux jusqu'à la fin du 19^{ème} siècle, l'homme a ensuite jusqu'aux années 50, utilisé en plus des matériaux traditionnels, des matériaux provenant de l'industrie. C'est seulement au moment de l'entre-deux guerres que

l'apparition du mur creux atteint son apogée. Des liens fréquents entre parement et mur porteur sont réalisés mais engendrent des ponts thermiques et des risques d'infiltrations. Au cours des années 70, la deuxième génération de mur creux fait son apparition, utilisant des ancrages ponctuels en acier pour pallier aux problèmes énoncés ci-dessus. A partir des années 80, le mur creux est d'utilisation fréquente et on commence à isoler la coulisse ventilée partiellement voire même totalement. [Kints. 2008]

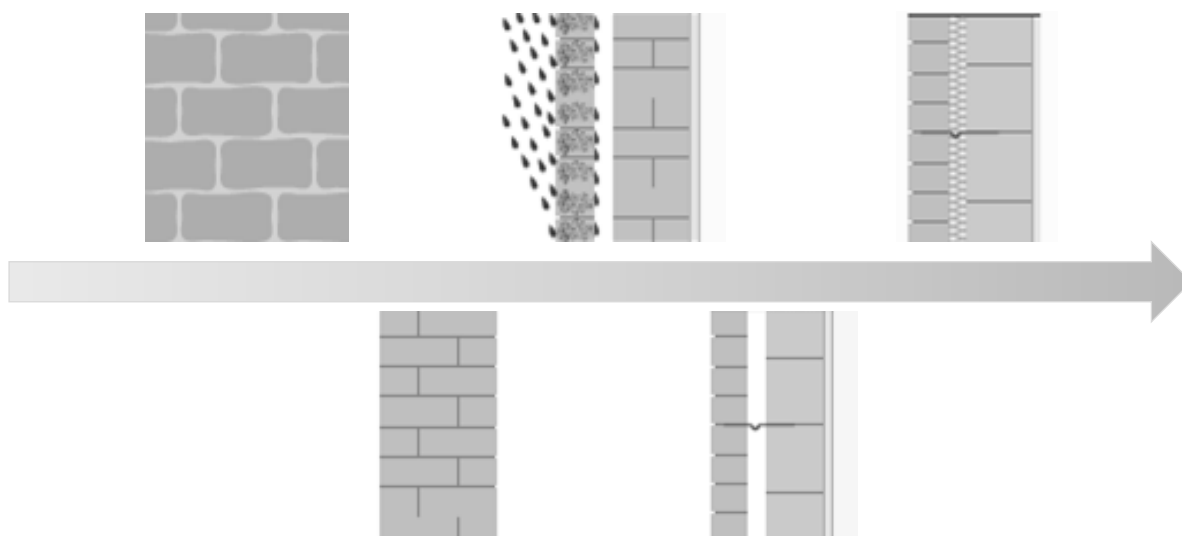


Figure 5 : Evolution dans l'art de construire [Kints. 2008]

Une étude réalisée par Jean-Marie Hauglustaine, nous montre bien l'importance et le potentiel que représente l'intervention sur le stock existant. En effet, l'observation réalisée par l'Institut de Statistiques en Belgique montre qu'annuellement, la construction de nouveaux bâtiments résidentiels représente 1,8% du stock bâti en Wallonie, ceci en considérant que 1% remplace le stock ancien et que 0,8% suit la demande due à l'augmentation de la population.

En faisant l'hypothèse que d'ici 2010,

- la consommation d'énergie des vieux bâtiments reste inchangée et s'élève à 340KWh/m² ;
- la consommation d'énergie des nouveaux bâtiments s'élève à 170KWh/m² puisqu'elle diminue de plus en plus pour répondre aux exigences accrues de régulation d'énergie Wallonne.

Alors, on peut estimer qu'en 2030 le parc résidentiel wallon s'élèvera à 120 % de celui de 2010 et qu'il présentera une consommation moyenne de 272KWh/m². Et ce, dans le cas où, bien entendu, aucune amélioration n'est apportée aux bâtiments existants.

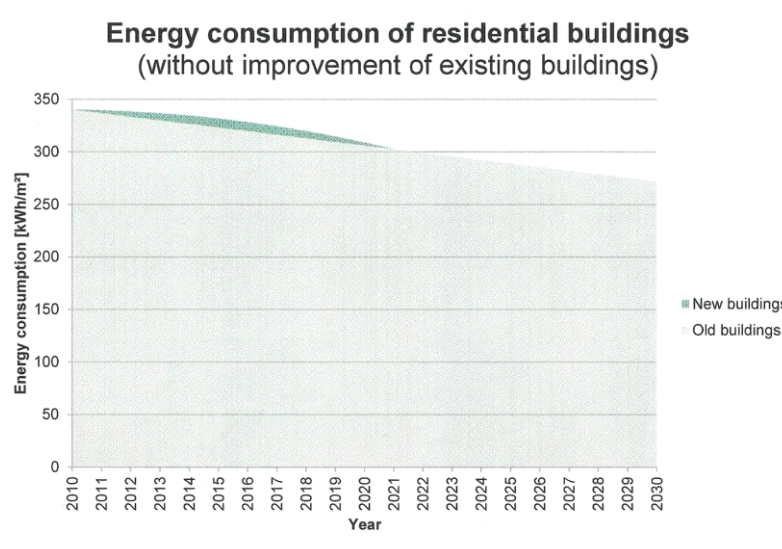


Figure 6 : Evolution des consommations énergétiques des bâtiments résidentiels wallons sans amélioration de l'existant [Hauglustaine. XXXX]

Par contre, si une amélioration est réalisée au niveau du stock existant et que celle-ci permet, de diminuer sa consommation, de 2.32%/an alors d'ici 2030, on verra une consommation moyenne du stock bâti de 170KWh/m². ce qui représentera une diminution 38% de consommation. [Hauglustaine. XXXX]

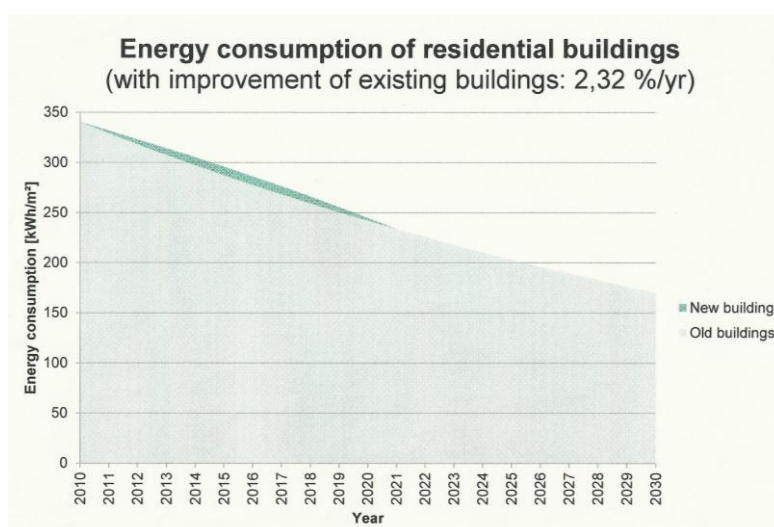


Figure 7 : Evolution des consommations énergétiques des bâtiments résidentiels wallons avec amélioration de l'existant [Hauglustaine. XXXX]

Enfin, on remarque que la question entre rénovation et démolition des vieux bâtiments reste une préoccupation encore très présente à nos jours. Pour n'en citer qu'un prenons l'article d'Anne Power (2008). Celle-ci aborde la question du choix entre la rénovation et la démolition des vieux bâtiments dans le but d'augmenter la viabilité environnementale, économique et sociale.

En effet, c'est en 1880 que le gouvernement commence à autoriser la démolition massive des vieux bâtiments insalubres. En 2003, depuis le plan du gouvernement de la collectivité durable, de nombreux débats ont vu le jour cherchant ainsi, une argumentation environnementale quant à la rénovation du parc immobilier existant et ce, dans le but de défendre la communauté face à la démolition. [Power. 2008]

La discussion fait aussi appel à d'autres études. La première tirée de « l'Institut Environmental Change » de l'Université d'Oxford a fait valoir que trois millions de démolitions étaient nécessaires d'ici 2050 si, nous voulions atteindre les objectifs de réductions d'énergie. [Boardman et al. 2005]

Il est essentiel ici de préciser que cette estimation ne prend pas en compte :

- le volume de nouveaux matériaux ;
- la consommation d'énergie dans la production de béton, d'acier et d'autres structures et éléments d'infrastructure ;
- ainsi que d'autres facteurs influant sur l'environnement tels que l'utilisation des terres,....

La seconde étude provient de la Commission du Développement durable de Londres. Elle démontre que même si la démolition nous semble la solution la plus facile et la plus rapide d'arriver à des réductions d'énergie, au maximum 2 millions de bâtiments existants seront démolis pour 2050, soit 10% du stock existant. De cette étude, il ressort que cette solution radicale n'est peut-être pas la meilleure et qu'il serait tout aussi efficace d'atteindre une bonne performance énergétique et environnementale, en prévoyant la rénovation du stock existant. [SDC.2006]

La dernière étude, sur laquelle s'appuie l'article d'Anne Power (2008), provient du fédéral Allemand du logement en milieu urbain et du Ministère des Transports. Cet article montre la faisabilité en ce qui concerne la rénovation de l'existant afin de réduire la consommation d'énergie. Les chiffres mis en évidence montrent effectivement une réduction de 80% pour des bâtiments ayant subi des travaux de rénovation.

Dans cet article, on dénonce les arguments qui prônent la démolition :

- en négligeant les effets négatifs face à l'environnement ;
- en augmentant de manière significative les émissions de CO₂, la consommation des ressources primaires due à la fabrication de nouveaux matériaux (une construction neuve utilise quatre à huit fois plus de ressources qu'une rénovation équivalente) ;
- la production des déchets (volume atteint lors d'une démolition suivie d'une reconstruction soit 30% du total des déchets) ;
- mais aussi face au caractère social accentuant les nuisances diverses telles que le bruit, les poussières, les contraintes du relogement (qui ne sont pas présentes lors de rénovations légères telles que l'augmentation de l'isolation, l'ajout de double vitrage,...).

Nous oublions également trop souvent que les anciens quartiers abritent aujourd'hui les familles les plus défavorisées et que la rénovation de ces bâtiments constituerait une plus-value importante.

La démolition ne devrait, donc, être qu'une solution de dernier recours. [Power. 2008]

Je citerai également, ici, une partie d'article d'Aline Branders et Arnaud Evrard (2010) : « A priori le bilan écologique d'une rénovation semble favorable vu que l'existant est en quelque sorte « recyclé ». Cependant, cela dépend de l'état initial du bâtiment et des performances que l'on souhaite atteindre. Par exemple, pour aller jusqu'au standard passif, il est souvent nécessaire d'intervenir de façon plus poussée sur la structure du bâtiment, ce qui implique davantage de démolitions et de reconstructions et donc un alourdissement du bilan énergétique et environnemental global. (...) Il convient donc de se poser la question, du moins face aux bâtiments ne présentant pas d'intérêts techniques, esthétiques ou patrimoniaux. » [Branders & Evrard.2010]

1.3.2. MÉTHODE DE CALCUL

1.3.2.1. OBJECTIFS

Les outils d'Analyse du cycle de vie (ACV) se développent de plus en plus et permettent, comme nous allons le voir dans le chapitre suivant, d'évaluer l'impact environnemental du choix des matériaux, de la technique de construction ou de déconstruction sur la totalité du cycle de vie du bâtiment.

On peut dès lors imaginer que les nouvelles exigences futures ne se limiteront plus à la seule phase de vie du bâtiment (qui certes est sûrement la plus importante), mais qu'elles commenceront à prendre en compte le cycle complet du bâtiment.

Ce travail de fin d'études a pour objectif d'utiliser un de ces outils afin de comparer les ACV réalisées sur différents processus de recyclage du bâtiment lorsque ce dernier ne permet plus de fonctionner correctement à savoir, la rénovation ou la démolition suivie de la reconstruction d'un nouveau bâtiment.

Afin de rester dans des études comparables, il est nécessaire de se baser sur une construction de référence (fonctions, volumes, surfaces chauffées,... identiques). Quelques différences essentielles devront néanmoins être prises en compte telles que l'utilisation de matériaux ou de techniques différentes dans le cas de la rénovation ou de la reconstruction d'un nouveau bâtiment et ce, de manière à rester dans des situations les plus réalistes possibles.

L'outil utilisé sera le « LCA Basci tool » développé par le Professeur Mauritz Glaumann de l'Université de Gävle et adapté par Madame Barbara Rossi de l'Université de Liège. Il sera décrit de manière plus précise dans les prochains chapitres.

1.3.2.2. CHAMP DE L'ÉTUDE

1.3.2.2.1. SYSTÈME ÉTUDIÉ

Le système étudié est un bâtiment abritant les bureaux du CPAS de Forest construit dans les années 30, en Belgique, dans la Région de Bruxelles-Capitale. En 2007, il fut sujet à de nombreuses

discussions quant à son devenir. La durée de vie de ce dernier est donc évaluée à **70** ans. Ce bâtiment est décrit de façon plus précise dans la suite de ce travail.

1.3.2.2.2. UNITÉ FONCTIONNELLE

L'unité fonctionnelle choisie est donc ce bâtiment existant d'une superficie de 756 m² de surface chauffée. La rénovation ayant eu lieu, il conviendra d'ajouter à cette étude les superficies de l'étage supplémentaire et les nouvelles annexes réalisées lors de la reconstruction du nouveau bâtiment, soit une superficie de 276 m² de surface supplémentaire chauffée.

Sachant que les conditions de vie et de besoin évoluent sans cesse et appellent à une réorganisation régulière des fonctions, bien que le bâtiment respecte les réglementations actuelles de la Performance énergétique du bâtiment (PEB), j'ai imaginé ici qu'après réception du bien, la durée de vie du bâtiment rénové ou démoli et reconstruit, s'élèverait à 50 ans.

1.3.2.2.3. FRONTIÈRE DU SYSTÈME

Il est dès lors utile de définir les différents processus dont nous allons tenir compte durant cette ACV.



Figure 8 : Frontière du système

Lorsque la décision est prise entre la rénovation et la démolition, la phase de conception entre en jeu. C'est durant cette phase que les décisions importantes concernant le développement durable surgissent. Ce dernier rappelle l'importance et l'enjeu du secteur de la construction en prenant en considération les trois pôles les plus importants à savoir, l'environnement, l'économie et la vie sociale.

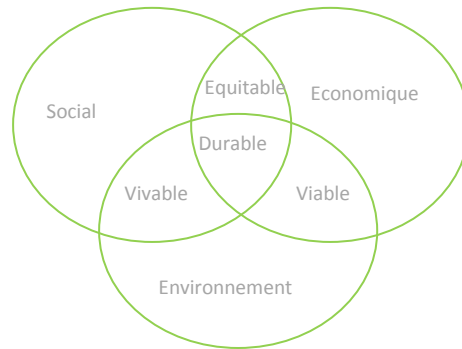


Figure 9 : Les trois critères de durabilité

« Le développement durable est le développement qui satisfait les besoins de la génération actuelle sans priver les générations futures de la possibilité de satisfaire leurs propres besoins. » [WCED. 1988]

La phase de conception ainsi terminée, le cycle concret de l'élaboration du projet peut enfin commencer.

Une première phase à considérer est la préparation du chantier. On y retrouve :

- le transport des ouvriers jusqu'au site ;
- l'utilisation du petit matériel ;
- l'utilisation de machines/engins de plus ou moins grande importance notamment, lors de la démolition complète du bâtiment ;
- le transport des différents matériaux, en considérant une distance spécifique du site où se trouve le chantier au centre relatif à la fin de vie du matériau considéré.

La phase suivante, est la phase de production. Elle prend en compte :

- l'extraction des matières premières ;
- le transport du site d'extraction à l'usine de fabrication des matériaux ;
- le processus de fabrication des différents matériaux ;
- le transport des matériaux du site de fabrication vers celui du chantier.

Une troisième phase est étudiée. Elle considère les facteurs liés à la construction tels que :

- le transport des ouvriers jusqu'au site ;
- l'utilisation de diverses machines/engins demandant un apport énergétique ;
- le transport des différents déchets produits sur chantier vers le centre adéquat.

La phase suivante est la phase d'utilisation du bâtiment. Celle-ci est plus ou moins équivalente dans les deux cas, on peut dès lors penser à la négliger. Notons cependant que le choix de certaines interventions, pour l'une ou l'autre solution, pourrait tout de même engendrer quelques différences.

Enfin, si l'on veut réellement boucler le cycle, nous devrions également tenir compte de la fin de vie de cette réhabilitation. Cette partie ne sera toutefois pas incluse dans le cadre de ce travail car elle engendre de nombreuses incertitudes. En effet, le bâtiment rénové pourrait, en fin de vie, ne pas être détruit mais pourrait subir une nouvelle rénovation et ainsi de suite. Le seul élément qui puisse réellement faire la différence entre la démolition du bâtiment rénové et celle de la nouvelle construction s'explique par le fait, que dans la rénovation, l'utilisation de l'acier a été choisie afin de répondre à de nouvelles exigences principalement thermiques.

1.3.2.3. TYPES D'IMPACT

Il est essentiel de déterminer quelles sont les catégories d'impacts à considérer et de ce fait, quels sont les indicateurs pris en compte dans ma démarche ?

Comme nous le verrons par la suite, les deux indicateurs choisis par l'outil « basi tool » sont le « Global Warming Potential, GWP » et le « Cumulate Energy Demand, CED ». Ce choix a été pris dans le but de considérer des impacts fiables et reconnus par tous.

Le GWP caractérise les changements climatiques. [Huet.2011] Il désigne le potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz émis dans l'atmosphère – spécialement des gaz à effets de serre (H₂O, vapeur d'eau, méthane, CH₄,). Il a été créé par l'IPPC (Intergovernmental Panel for Climate Change) et s'exprime en Kg CO₂ éq.

Le deuxième indicateur, CED représente, quant à lui, la consommation d'énergie d'un produit tout au long de son cycle de vie, qu'elle soit directe ou non. Il est la conséquence de nombreux problèmes environnementaux. [Huijbregts.2006] Il s'exprime en Mj éq.

2. ANALYSE EN CYCLE DE VIE

2.1. LA METHODE

Dans le chapitre précédent, on a pu se rendre compte de la prise de conscience, durant cette dernière décennie, de l'importance de la protection de notre environnement qui a permis de mettre en œuvre le concept du développement durable. Ce dernier, afin de diminuer la consommation d'énergie tout en améliorant les conditions de vie de chacun, reste à ce jour d'une importance capitale.

Il est évident qu'il ne faut pas s'arrêter à la problématique concernant principalement la période de fonctionnement ou, plus précisément la période d'utilisation du bâtiment. Dès lors, il y a lieu de commencer à s'intéresser aux impacts environnementaux directement associés aux produits (incluant les services) tant fabriqués que consommés et de les réduire le plus possible.

C'est dans cet intérêt que de nouvelles techniques ont été développées. Dans le cadre de ce TFE, nous nous intéresserons principalement à l'une de ces techniques en cours de développement à savoir, l'analyse du cycle de vie (ACV).

L'analyse du cycle de vie (ACV) a été définie selon des normes internationales telles que la norme ISO 14040 et la norme ISO 14044. Celles-ci ont été établies par l'ISO, Organisation Internationale de Normalisation. Cette organisation représente la fédération mondiale d'organismes nationaux de normalisation. [ISO 2006 (a) ; ISO 2006 (b)].

Ces deux normes sont très importantes car elles permettent d'établir une méthodologie tout au long de l'étude du produit et donnent ainsi l'opportunité de considérer l'ensemble du cycle de vie d'un produit au travers des impacts environnementaux potentiels de ce dernier. L'analyse en cycle de vie porte ainsi de l'extraction et de l'acquisition des matières premières, à l'utilisation, au traitement en fin de vie et à l'élimination finale des déchets en passant par la production d'énergie et de matière et la fabrication. [ISO 2006 (a) ; ISO 2006 (b)].

Pour améliorer l'efficacité ainsi que la lisibilité de l'étude, l'ACV modélisera le cycle de vie d'un produit sous la forme d'un système qui remplit une ou plusieurs fonctions définies. De cette façon et schématisés ci-dessous, on peut associer assez facilement les deux flux principaux au système qui ne sont autres que, **les flux élémentaires entrant et sortant**, ceux-ci incluent l'utilisation des ressources (pétrole,...) et les émissions dans l'air, les rejets dans l'eau et dans le sol, et **les flux de produits entrant et sortant**, ces derniers quant à eux incluent les matières recyclées et les composants destinés à la réutilisation. [ISO 2006 (a)]

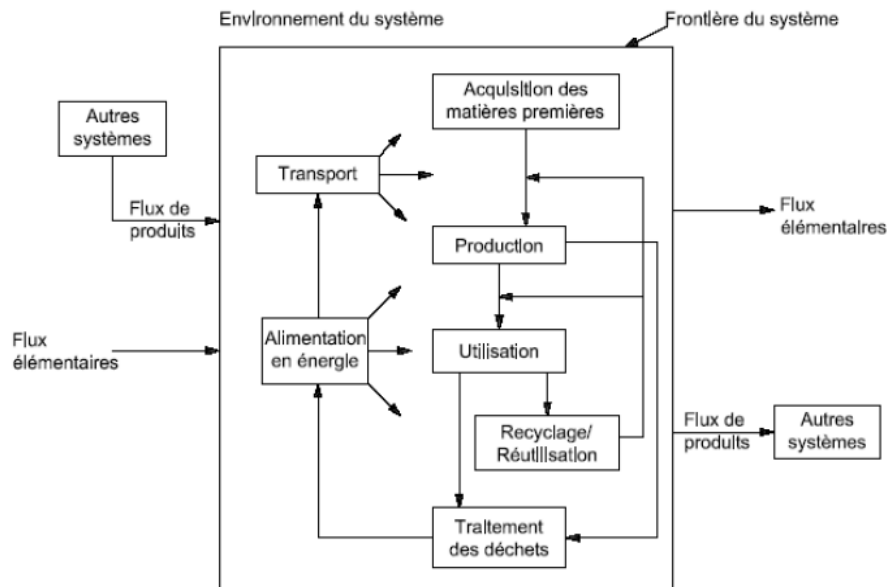


Figure 10 : Exemple de système de produit pour l'ACV [ISO 2006 (a)]

L'analyse en cycle de vie pourra être utilisée à diverses fins. [Reiter. 2010].

- une comparaison entre deux systèmes concurrents sur leur cycle de vie complet ou partiel ;
- une comparaison entre les phases du cycle de vie d'un même système ;
- une comparaison d'un système et de ses alternatives ;
- une comparaison d'un système à une référence.

Ainsi des différents résultats obtenus lors de l'analyse en cycle de vie, nous pourrions en déduire quelles sont les étapes du cycle de vie du produit qui sont les plus consommatrices d'énergie et pourquoi. Des pistes de solutions d'améliorations ainsi que des stratégies pourront ainsi être établies afin de faciliter les prises de décisions.

Comme énoncé ci-dessus, les normes ISO 14040 et ISO 14044 permettent une méthodologie adéquate lors de l'analyse en cycle de vie. On retiendra principalement que celle-ci se décompose en 4 phases importantes :

- la définition des objectifs et du champ de l'étude ;
- l'inventaire ;
- l'évaluation de l'impact ;
- l'interprétation.

Chaque phase utilise les résultats des phases précédentes. Il va donc de soi que l'analyse en cycle de vie est une approche itérative. Ce processus itératif permet la complétude et la cohérence de l'étude et des résultats obtenus. [ISO 2006 (a)]

Le schéma suivant tiré de la norme 14040, permet de souligner chaque phase de l'analyse ainsi que les relations existantes entre celles-ci.

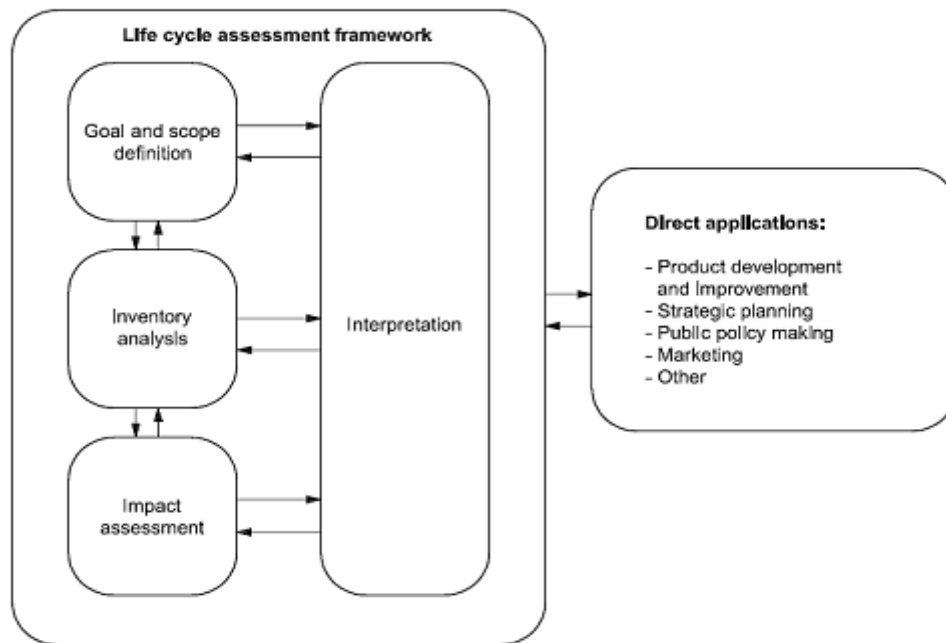


Figure 11: Phase d'une ACV [ISO 2006 (a)]

Regardons plus en détail les 4 phases de l'ACV stipulées par les normes 14040 et 14044.

2.1.1. DEFINITION DES OBJECTIFS ET DU CHAMP DE L'ETUDE

Les définitions des objectifs et du champ de l'étude devront être clairement définies et devront présenter une certaine cohérence avec le cas pratique envisagé. Durant l'étude, du fait du processus itératif de l'analyse, le champ de l'étude peut évoluer différemment de ce que l'on avait envisagé au départ. Il est essentiel que ce dernier doive non seulement décrire clairement plusieurs éléments tels que, le système de produit à étudier, l'unité fonctionnelle, la frontière du système, les types d'impacts à considérer, mais aussi en tenir compte. [ISO 2006 (a); ISO 2006 (b)].

La notion d'unité fonctionnelle est très importante et il ne faut pas la négliger. En effet, lorsque celle-ci est correctement définie et mesurable mais aussi reste cohérente avec les objectifs et le champ de l'étude, l'unité fonctionnelle a pour but de fournir une référence par rapport à laquelle les intrants et extrants sont normalisés. [ISO 2006 (a); ISO 2006 (b)].

Lors de la réalisation d'une analyse en cycle de vie, il est aussi important de bien définir les frontières du système. De cette façon, les processus élémentaires à inclure dans le système sont clairement définis comme par exemple : où commence la réception des matières premières, quelle est la nature des transformations et des opérations mais aussi où se termine le processus en terme de destination des produits intermédiaires ou finaux [ISO 2006 (a); ISO 2006 (b)].

2.1.2. L'INVENTAIRE DU CYCLE DE VIE (ICV)

La phase précédente, étant la définition des objectifs et du champ de l'étude, établit le plan initial pour la réalisation de l'inventaire du cycle de vie d'une ACV. Cette seconde phase permet de réduire le risque d'erreur d'une mauvaise interprétation qui peut se produire, par exemple, par un double comptage lors de la validation ou de la réutilisation des données collectées. Elle a donc pour objectif de décrire tous les intrants (matières premières, énergie) et extrants (déchets, émissions dans l'air,...) du système de produits étudiés à chaque étape du cycle de vie sous forme de flux élémentaires (pour pouvoir être utilisables, ceux-ci devront être bien entendu rapportés à l'unité fonctionnelle établie en amont). [ISO 2006 (a); ISO 2006 (b)].

Pour la détermination des flux associés à la production, il sera important d'utiliser la composition réelle de la production afin qu'elle reflète les différents types de ressources consommées.

Une démarche d'affectation devra être utilisée lorsque qu'il existe des processus de sorties multiples c'est-à-dire lorsque le système génère plus d'un produit. En effet, dans ce cas, les entrées (matières premières et les flux d'énergie) pour le système et les impacts environnementaux qui en résultent, doivent être répartis entre les sorties de produits divers. [Reiter 2010]

Lorsque le recyclage ou la réutilisation des matériaux est possible, les règles d'affectations énoncées dans les normes ISO 14040 et ISO 14044 restent valables. Cette nouvelle gestion des matériaux est un grand pas en avant et offre un grand nombre d'avantages du point de vue environnemental, car elle permet une diminution de la consommation des matières premières. Il y a un intérêt majeur aussi au niveau des charges puisque celles-ci devront être divisées entre le processus qui génère les déchets système de produit primaire et le processus qui va utiliser la fraction recyclée produit secondaire. [Reiter 2010 ; Blengini 2009]

En général, on retiendra que la somme des intrants et extrants d'un processus élémentaire qui est affectée, doit être égale aux intrants et extrants du processus élémentaire avant affectation. [ISO 2006 (b)]

2.1.3. L'ÉVALUATION DE L'IMPACT DU CYCLE DE VIE (ACVI)

Cette phase permet de recueillir et d'évaluer les impacts environnementaux du système de produit étudié. Il sera donc plus qu'obligatoire de retrouver les éléments suivants [Ortiz et al. 2009] comme :

- le choix des catégories d'impact ;
- une classification qui permet de relier les catégories d'impact sélectionnées aux résultats de l'ICV ;
- le calcul des résultats d'indicateurs de catégories.

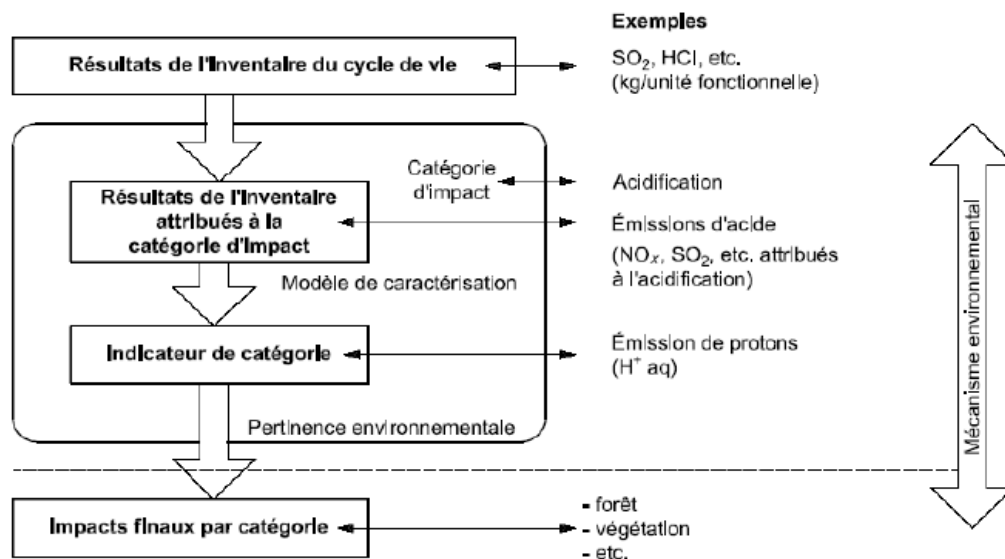


Figure 12: Concept d'indicateurs de catégorie [ISO 2006 (b)]

Remarque : L'indicateur de catégorie peut être choisi n'importe où le long du mécanisme environnemental. [ISO 2006 (b)].

L'analyse en cycle de vie permet donc d'évaluer toute une série d'impacts environnementaux. Ces derniers ont été définis par Wathern en 1988, comme « *l'effet, pendant un temps donné et sur un espace défini, d'une activité humaine sur une composante de l'environnement pris dans le sens large du terme (c'est-à-dire englobant les aspects biophysiques et humains), en comparaison de la situation probable advenant la non-réalisation du projet* ». [Wathern.1988].

La réalisation du projet va donc entraîner une modification du système par rapport à son état initial.

Les impacts environnementaux sont alors identifiés de manière différente selon leur zone mais aussi selon leurs degrés d'influence. Il est évident qu'il existe toute une série d'indicateurs d'impacts environnementaux **tels que** :

- l'effet de serre ;
- la destruction de la couche d'ozone ;
- l'acidification ;
- les déchets ;
- la radioactivité ;
- le bruit ;
- l'odeur ;
- l'énergie consommée, etc...

Dans le cas de ce TFE, mon étude s'effectuera sur base de deux indicateurs d'impacts qui sont l'effet de serre (GWP, Global Warming Potential) dû à l'émission de gaz comme le CO₂, le NO₂,..., qui est exprimé en Kg CO₂ équivalent et est le principal responsable des importants changements

climatiques que connaît notre planète. Il fait également l'objet de nombreuses études développées par l'International Panel on Climate Change [Houghton & al.2001]. La consommation d'énergie (CED, Cumulative Energy Demand), directe ou indirecte tout au long de son cycle de vie, qui tient compte de l'appauvrissement des ressources [E.C.Popovici.2006]. Ce dernier est quant à lui exprimé en MJ équivalent.

Le choix de tels indicateurs permet de se baser sur des impacts couramment acceptés et fiables.

2.1.4. L'INTERPRÉTATION DU CYCLE DE VIE

La dernière phase de l'analyse en cycle de vie consiste à l'identification des enjeux significatifs basée sur les résultats des phases de l'ICV et de l'ACVI mais également, à la vérification de la fiabilité des résultats ainsi qu'à la conclusion de ceux-ci qui permet ainsi d'aboutir à une série de recommandations et de décisions. [ISO 2006 (a)]

2.2. ACV, ANALYSE EN CYCLE DE VIE DANS LE SECTEUR DU BÂTIMENT

Depuis 1987, alors que le rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et développement (CMED) intitulé « Notre avenir à tous » a vu le jour, le développement durable a gagné beaucoup d'attention dans toutes les nations. Essayant de trouver des pistes de solutions aux développements afin de ne pas compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins. [Ortiz et al. 2009]

Le secteur du bâtiment constituant 30 à 40% de la demande totale en énergie [Boverket.1999] et environ 44% dans l'utilisation des matières primaires. [BYKR. 2001]

Il devient donc une priorité dans l'optique d'atteindre une société durable dans un délai de temps raisonnable. Car n'oublions pas, que la durée de vie des constructions est assez longue (estimée plus ou moins à 50 ans) et que la mise en place des changements nécessaires à améliorer l'environnement dans ce secteur, peut prendre un temps considérable. [Erlandsson et Borg 2003]

Dans le secteur du bâtiment, la méthode de l'analyse en cycle de vie a pu voir le jour à partir des années 1990. [Ortiz et al. 2009]. D'après Emil Popovici et Bruno Peuportier, l'ACV peut être utilisée comme un outil d'aide à la conception des bâtiments. [Popovici et Peuportier 2004]

Dans l'analyse en cycle de vie du bâtiment, trois étapes importantes sont étudiées. On y retrouve, **l'étape de production** (elle consiste en l'extraction des matières premières, les procédés de fabrication des matériaux de constructions ainsi qu'en l'acheminement des matières en interne) puis vient **l'étape d'utilisation** (c'est-à-dire la construction avec transport jusqu'au chantier, utilisation du bâtiment par les occupants (consommation d'énergie,...) ainsi que l'entretien du bâtiment comprenant la maintenance et éventuellement les rénovations. En dernier lieu, vient évidemment

l'étape de fin de vie du bâtiment avec sa démolition et sa gestion des déchets. (Blengini. 2009 ; Bourcy. 2011 ; Erlandsson et Levin. 2004 ; Rossi. 2010)

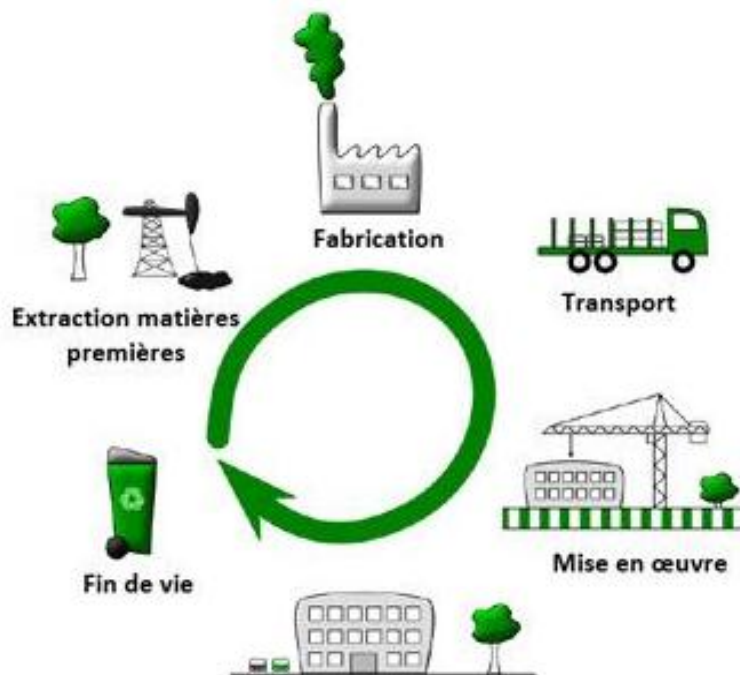


Figure 13: Illustration du cycle de vie [Portail EcoBase21]

De nombreux articles ont déjà été publiés sur le sujet de l'analyse en cycle de vie du bâtiment. On remarque que toutes ces analyses portent en général sur des bâtiments existants.

La plupart de ces articles portent essentiellement sur le secteur résidentiel. C'est par exemple, le cas d'une étude menée par Blengini G. A. qui publie un article sur l'analyse d'un bâtiment résidentiel unifamilial situé à Turin en Italie. Dans cette étude, il considère les 3 phases de vie du bâtiment :

- la pré-utilisation (c'est-à-dire la phase avant même de construire le bâtiment : procédés de fabrication des matériaux, transport) ;
- la phase d'utilisation (chauffage,...) ;
- et pour finir la phase de fin de vie (recyclage, élimination des déchets).

Il conclut d'après ces résultats que durant la totalité du cycle de vie du bâtiment (qui est estimée, ici, à 40 ans) c'est la phase d'utilisation qui produit la majorité des impacts environnementaux. [Blengini. 2009]

Ortiz et Al. (2010), étudient quant à eux un bloc d'immeubles d'appartements situés à Barcelone. La méthode pour la réalisation des différents objectifs ci-dessous a fait l'objet de 3 études séparées qui visent à :

- l'évaluation des impacts sur l'environnement durant la phase de construction ceci comprenant la fabrication de matériaux de construction,

l'énergie consommée par les machines, le transport des matières au chantier de construction et la gestion des déchets résultant de l'élimination des déchets de matériaux et d'emballage en fonction du site ;

- la comparaison des différents profils environnementaux en fonction de la composition des murs intérieurs et extérieurs. Ce qui permettra de faciliter les décisions sur le choix des matériaux et des solutions constructives au stade du projet ;
- étudier les différents scénarios possibles sur la gestion des déchets de matériaux ou d'emballage (mise en décharge, incinération, recyclage,...).

D'autres articles tels que celui de Blengini et Di carlo (2010) permettent de comparer l'analyse en cycle de vie d'une maison unifamiliale standard située en Italie avec une maison à très basse consommation d'énergie. Pour arriver à des performances importantes (demande en chauffage de 10 kWh/m² par an), la conception s'est basée sur une approche bioclimatique utilisant ainsi des panneaux solaires, une meilleure isolation, des matériaux à haute performance ainsi qu'un système de ventilation double flux.

Pour ce cas d'étude, les résultats ont révélé que ce n'était plus la phase d'utilisation qui était la plus importante mais que c'était ici, la phase de production qui induisait le plus d'impact. Il y a donc lieu de prendre en compte que le fait de vouloir abaisser la consommation lors de la phase d'utilisation par l'emploi de matériaux et systèmes ayant une meilleure performance a pour conséquence que ces derniers demandent plus d'énergie lors de leur fabrication.

La comparaison avec une maison dont la demande en chauffage atteint les 110 kwh/m² par an, montre que cette dernière engendrera moins d'impacts lors de phase de production des matériaux mais en produira beaucoup plus lors de la phase d'utilisation (chauffage) ainsi que sur la totalité de son cycle de vie.

Les auteurs de l'article précisent que les résultats obtenus ne peuvent donc pas être généralisés à l'ensemble des bâtiments puisque, cela dépendra de beaucoup de caractéristiques telles que le climat, le système constructif utilisé,... [Blengini, Di Carlo 2010]

La phase la plus prépondérante dans l'analyse est bien souvent la phase d'utilisation du bâtiment. Sur base d'une étude bibliographique importante, elle représente 62 à 98% des impacts totaux du cycle de vie [Sartori Hestness 2007].

Dans mon étude de cas, la phase d'utilisation sera plus ou moins comparable en ce qui concerne les deux scénarios étudiés : la rénovation et la reconstruction après démolition. Seule sera prise en compte dans la rénovation, une moins bonne performance d'étanchéité à l'air.

L'objectif de mon étude est surtout de déterminer, quel est le choix le plus adéquat entre la rénovation et la démolition suivie de la reconstruction du bâtiment pour un même niveau de performance énergétique visé.

Cela reste donc la première phase à étudier pour réduire les consommations énergétiques d'un bâtiment sur la totalité de son cycle de vie.

En parcourant les différents articles afférents au sujet de l'analyse en cycle de vie, on se rend compte que peu d'entre eux concernent les bâtiments de bureaux. En effet, ils se concentrent principalement sur le logement qui reste la construction majoritaire dans beaucoup d'endroits. Il est tout de même intéressant de les lire car ils donnent une idée de la méthodologie appliquée pour réaliser l'ACV d'un bâtiment.

A présent, parcourons quelques articles étudiant les bâtiments de bureaux. C'est le cas, par exemple de l'article de Cole et Kernan, qui présente l'analyse en cycle de vie d'un bâtiment situé au Canada et constitué de 3 étages dont les espaces de fonction sont principalement des bureaux. La superficie totale de ce bâtiment est de 4620m². Son analyse porte sur les différentes possibilités de structure (béton, acier, bois). [Cole et Kernan 1996]

Le second article traite de l'importance de la consommation énergétique des bâtiments par rapport à la consommation totale en Chine. Le ratio est passé de 10% en 1970 à 27,45% de nos jours. Dans les pays développés, ce ratio a souvent dépassé les 33%. Cet article montre l'importance de l'étude de l'analyse en cycle de vie dans le bâtiment. Il compare la consommation en énergie ainsi que le taux d'émission dans l'environnement de deux bâtiments de bureaux typiques de Shanghai, construits à l'aide d'une charpente métallique et en béton. En effet, ces deux matériaux sont de plus en plus utilisés dans le domaine de la construction. [Xing ; Xu et Jun 2007]

Sur le sujet que j'étudie plus particulièrement, c'est-à-dire la comparaison environnementale entre une rénovation et une démolition, on peut retrouver l'article de Martin Erlandsson. Il étudie ainsi l'analyse en cycle de vie de maisons unifamiliales existantes situées en Suède et détermine les différentes possibilités de rénovation. Ce dernier arrive à des résultats tels que la rénovation est un choix beaucoup plus respectueux de l'environnement que, la construction d'un nouveau bâtiment de logements si, bien entendu, on atteint les mêmes résultats en ce qui concerne la performance énergétique du bâtiment. [Erlandsson et Levin 2004].

Il est évident qu'il est plus facile d'atteindre une meilleure performance environnementale lors de la construction de nouveaux bâtiments. Toutefois, la rénovation des bâtiments existants offre aussi la possibilité d'améliorer la performance environnementale de ceux-ci. Il est précisé que la rénovation, y compris les activités de maintenance, représentent presque la moitié de l'impact environnemental dans le secteur résidentiel ainsi que pour les services. Il y a donc intérêt à évaluer le potentiel existant. [Erlandsson et Levin 2004]

Un autre article de Bin et Parker (2011), étudie quelle période du bâtiment engendre le plus d'impact sur l'environnement. Pour toute échelle de bâtiments, c'est évidemment, la phase de fonctionnement qui influence le plus l'environnement. Il dénonce le fait qu'il existe un nombre important d'études différentes en ce qui concerne la consommation d'énergie du cycle de vie et des émissions de CO₂ dans le secteur du bâtiment mais qu'il y a, encore à l'heure actuelle, trop peu de programmes de sensibilisation et d'information auprès de la population sur le développement durable. Les chiffres concernant les consommations énergétiques des bâtiments sont connus mais en quoi sont-ils importants vis-à-vis de l'environnement ? Aujourd'hui beaucoup de personnes pensent qu'ils vivent dans une maison verte, mais quels sont vraiment les critères d'un bâtiment vert ?

Cet article essaye donc de répondre à ces questions concernant l'empreinte écologique, un indicateur bien connu pour des mesures de durabilité. L'empreinte écologique est considérée

comme un outil de communication vivant et direct qui résonne avec le public. Elle permet la traçabilité des consommations mais aussi des déchets assimilés. Depuis son introduction, par Rees et Wackernagel dans les années 1990, l'EF a été promulguée avec succès, bien acceptée, largement appliquée et, profondément explorée. Elle permet d'inclure les variantes propres à chaque communauté ainsi que les ressources naturelles, la production, les activités humaines... Malheureusement, cette méthode reste inconnue pour les vieux bâtiments. Ce papier représente donc un complément entre les études d'ACV et d'empreinte écologique (EF). L'étude porte sur une maison en briques de 140m² construite dans les années 1910 à Ontario. Le but est de montrer que l'on peut atteindre des réductions importantes quant aux émissions de CO₂ mais aussi, de consommation d'énergie (jusqu'à 50% de réduction) en apportant une isolation des parois qui était jusqu'ici inexistante. On passe de cette façon à un bâtiment qui consommait 2,5 fois plus d'énergie qu'une maison standard construite dans les années 2000 à une consommation d'énergie atteignant 45% en moins que le modèle standard. Ceci montre donc bien l'importance de rénover les anciens bâtiments surtout que le temps de retour sur l'investissement n'est que de 2 ans. [Bin & Parker.2011]

2.3. OUTILS D'ACV APPLIQUES AUX BATIMENTS.

Dès les années 80, de nombreux outils permettant l'analyse en cycle de vie ACV des bâtiments ont été développés et continuent toujours à faire l'objet d'études afin d'être sans cesse améliorés et rendus également plus facile à manier par les différents types d'utilisateurs. Les améliorations visent à assurer leur emploi régulier et ainsi amener les usagers à prendre conscience du cycle de vie total des bâtiments qui, comme nous l'avons vu plus haut est d'une importance capitale quant au devenir de l'environnement.

Il est toutefois rare que l'outil utilisé dans le but de réaliser une ACV englobe tout le cycle de vie du bâtiment sans privilégier un critère plutôt qu'un autre. [Hensenne 2011]. En effet, bien que la méthodologie générale ACV est bien définie [ISO 2006 (a) ; ISO 2066 (b)], son application dans le secteur du bâtiment souffre toujours d'un manque de standardisation [Verbeeck et Hens 2010].

Dans cette logique, on retrouvera donc des outils qui se basent essentiellement sur les matériaux et les processus, des outils de conception utilisant des ACV élémentaires qui permettent juste d'avoir une idée approximative des impacts environnementaux, des outils qui réalisent une ACV principalement, en étudiant la phase de construction et d'utilisation et enfin des outils de post production qui servent à déterminer si la performance du bâtiment est suffisante. [Hensenne 2011 ; Centre For Design 2001]

Dans l'article de Haapio et Viitaniemi (2008), les deux auteurs essaient de clarifier le domaine, assez vaste, des outils d'évaluation environnementale des bâtiments. Pour cela, les différences entre les outils sont analysées et discutées. Ils admettent, toutefois, que la comparaison est difficile car ils évaluent différents types de bâtiments et soulignent les différentes phases du cycle de vie.

De plus, outre les aspects environnementaux, la conception d'un bâtiment durable comporte des aspects économiques et sociaux qui pourraient être intégrés dans des outils d'évaluation durable plus complexes. Le passage de l'élaboration d'outils d'évaluation environnementale à des outils

d'évaluation durable des bâtiments est un défi pour la construction d'outils d'aide à la conception et à la prise de décision par rapport aux bâtiments. En outre, les avantages de l'utilisation des différents outils doivent être clairement analysés car les résultats obtenus influenceront la prise de décisions. [Haapio & Viitaniemi 2008]

Le chapitre précédent reflète le développement important des études ACV appliquées aux bâtiments mais il reste encore un énorme défi, celui de sa modélisation. [Rossi et al. 2012 (a)]. On remarque que l'ACV offre encore une utilisation limitée en ce qui concerne la phase de conception [Scheuer et al. 2003 ; Malmqvist et al. 2010]. En outre, la démolition des bâtiments et le recyclage des matériaux sont rarement abordés dans les études d'ACV [Blengini 2009] alors qu'ils ne sont pas négligeables puisque par exemple, le recyclage représente 29 à 40% de l'énergie utilisée pour la fabrication et le transport des matériaux de construction. [Thormark 2002].

Pour la réalisation de mon cas d'étude, j'ai choisi de me concentrer sur un outil en particulier. Cet outil suit les recommandations de l'Office des normes ISO 14000 et se base sur une feuille Excel développée par le Pr. Mauritz Glaumann de l'Université de Gävle et adaptée par Barbara Rossi de l'Université de Liège. Barbara Rossi y a apporté certaines modifications de façon à tenir compte, par exemple, de l'évaluation de la demande de chauffage dans une pièce, les jours ouvrables et les jours fériés, la période de nuit et de jour, les températures de confort, les gains de chaleur interne, le chauffage solaire passif,... [Rossi et al. 2012 (a)].

En ce qui concerne les données des différents matériaux (fiches techniques et fiches environnementales) considérés dans l'outil afin de définir la composition des parois, ceux-ci ont été tirés de bases de données fiables et existantes : BEES (<http://ws680.nist.gov/bees/>) et Luxembourg Construction portail, www.crtib.lu) et IRTC, qui offrent un panel important de matériaux en Europe [Rossi et al. 2012 (a)].

Une étude a été réalisée sur cet outil afin de comparer ces résultats avec ceux obtenus par le logiciel EQUER, outil d'ACV reconnu, dans le but de vérifier sa validité. Cette étude prouve la validité des résultats concernant cet outil Excel [Rossi et al. 2012 (b)]. C'est cet outil que j'ai choisi d'utiliser dans le cadre de ce mémoire. Il permettra l'ajout facile de feuilles Excel de façon à tenir compte de la phase de démolition du bâtiment, ce qui n'était à l'heure actuelle pas encore possible.

Depuis 2002, hormis le 1er étage, tout le reste du bâtiment était inoccupé. Le bâtiment se présentait dans un état de conservation lamentable. Ne répondant plus aux normes de sécurité et de salubrité, ce bâtiment ne permettait plus la continuité du travail dans des conditions adéquates [A2M. 2008].

Une solution doit être apportée. Seules deux solutions s'offrent à nous, mais laquelle reste vraiment envisageable du point de vue social, environnemental et économique ?

Bien du CPAS de Forest, le bâtiment ainsi situé dans le « périmètre de protection » de l'Hôtel de Ville, fut l'objet de nombreuses discussions entre le choix de le rénover ou de le démolir afin de le reconstruire entièrement.

Le choix du maître d'ouvrage (CPAS de Forest) se porte sur la conservation de volume existant et l'adaptation du bâtiment aux nouvelles exigences d'espace et d'usage. Beaucoup plus ambitieux encore, il souhaitait voir le projet inscrit dans les « bâtiments exemplaires de la Région de Bruxelles-Capital » c'est-à-dire qui atteignent un haut niveau de performance énergétique et environnementale.

En 2007, Deux projets de « rénovation » sont proposés.

Le premier entrevoyait la destruction complète de l'intérieur du bâtiment avec une volonté totale de conservation des façades existantes, à rue. Ensuite, il proposait une rehausse de 3 étages afin d'aligner la construction sur sa voisine. Ceci est un exemple typique de façadisme bruxellois, il donne lieu à une véritable construction hybride où l'existant se mélange avec le nouveau. [Cohen M. 2011]

Cette méthode semble convenir à beaucoup de personnes, puisqu'elle permet de garder le style ancien de la façade tout en donnant la possibilité de créer un bâtiment totalement neuf derrière celle-ci. Cette méthode reste pour moi quelque chose d'inconcevable car il me semble que cette solution débouche sur une vision complètement tronquée de la réalité architecturale et socio-économique de notre passé. Au lieu d'associer ancien et nouveau, on les dissocie totalement. Le phénomène ne permet pas de stimuler l'esprit, la créativité est laissée de côté au détriment de la facilité.

Le second projet, retenu par la Ministre régionale, Evelyne Huytebroeck de l'Environnement et de l'Energie dans le cadre du développement de « bâtiments exemplaires » [A2M. 2008], a été proposé par le bureau A2M. Leur volonté était de conserver au maximum les qualités originelles du bâtiment et d'en restituer une image cohérente du bâtiment. [Cohen M. 2011]



Figure 15 : Photo de la rénovation du CPAS de Forest [A2M.2012]

Le projet vise donc une rénovation « basse énergie » avec le souci de la protection du patrimoine. L'aspect « Développement durable » du projet comprendra, entre autres, les actions suivantes :

- des installations qui limitent la consommation d'eau ;
- l'aménagement des toitures plates en toiture verte ;
- l'utilisation de matériaux de constructions dont l'impact sur la santé est limité ;
- le chantier minimisera la production de déchets (limitation des démolitions, tris et réemplois des matériaux issus de la démolition...) ;
- par ailleurs, l'entièreté du bâtiment sera accessible aux Personnes à Mobilité Réduite. [A2M. 2008]

3.1.2. MORPHOLOGIE DU BÂTIMENT

Le bâtiment existant représente une superficie de 756 m² de bureaux se développant sur 3 étages.

(Plans et coupes, Cfr. Annexe 13)

Il est ainsi composé d'un bloc principal imbriqué dans un coin d'îlot, dont les façades à rue se développent sur 32 mètres de long, tout en épousant le tracé de la chaussée. Sa superficie au sol représente 225 m². A ce bloc principal, viennent alors se greffer deux annexes dont l'une est accessible du Rez-de-chaussée et l'autre de l'étage. A elles deux, elles représentent une superficie de 80 m² (52,5 m² et 28,5 m²).

Ce bâtiment construit dans les années 30, présente en façade une double paroi en briques, une toiture en charpente bois revêtue d'un bitume et un simple vitrage pour les fenêtres. Ne présentant aucune isolation et ne permettant plus son usage quotidien, il se compte donc parmi les nombreux bâtiments du parc immobilier belge dont il y a lieu de se préoccuper.

3.2. QUELLES SONT LES SOLUTIONS ENVISAGEABLES ?

C'est à partir de cet instant que la discussion commence entre une rénovation et une démolition suivie de sa reconstruction.

Mais comment peser le pour et le contre ? Et comment aboutir à une solution efficace sur le plan environnemental, économique et social ?

Pour nous aider dans la prise de décision, l'ACV est un outil primordial, comme on pourra le voir.

3.2.1. RENOVATION-DESCRIPTION DES INTERVENTIONS REALISEES

Les plans, façades et coupes de la rénovation se retrouvent en annexe 14

3.2.1.1. LA DEMOLITION PARTIELLE

Quelques soit le chantier choisi, on devra passer par la phase de démolition. Bien évidemment cette phase sera partielle ou totale selon le scénario choisi.

Dans le cas de la rénovation, la phase de démolition reste très partielle. En effet, celle-ci consiste en la suppression des deux annexes existantes, de la toiture et de certaines parties de plancher intermédiaire. Même si elle est importante vis-à-vis d'autres rénovations où quasi aucune démolition n'est réalisée, elle reste ici négligeable par rapport à une démolition totale du bâtiment, puisqu'elle ne fait appel à aucun engin lourd tel que les grues,...

Les démolitions envisagées se trouvent en annexe 12 (métrés + plans)

3.2.1.2. LE RECYCLAGE

Le secteur de la démolition et de la construction représente un fournisseur important en déchets [portail IBGE.2012].

En effet, pour la Région de Bruxelles-Capitale, une enquête réalisée auprès des gestionnaires de déchets a révélé que le nombre total de déchets obtenus pour les deux secteurs s'élève à 1.614.000 tonnes pour la seule année 1995. Les déchets ici considérés comprennent les déchets de terre et les briquillons. A ces déchets, doivent être ajoutés ceux qui proviennent des emballages soit d'après les chiffres annoncés pour la Région wallonne, [Courard. 2010], 7,3% des déchets de la construction et 1,1% des déchets de la réhabilitation.

A ce jour, l'élimination des déchets devient de plus en plus onéreuse. Frein économique qui incite les entrepreneurs à se diriger vers une valorisation du déchet qui est plus respectueuse de l'environnement. Il s'avère donc plus économique de diminuer autant que possible la production de déchets et lorsque celle-ci est inévitable de commencer à réaliser un tri sur le chantier.

Par valorisation des déchets, on entend toute opération qui vise à :

- réutiliser le produit devenu déchet ;
- obtenir des matières premières secondaires ;
- ou encore obtenir de l'énergie à partir de déchets.

Trois méthodes existent en vue de valoriser les déchets :

1. **La réutilisation**, qui concerne les matériaux non altérés qui peuvent être directement réutilisés sans traitement préliminaire. Elle englobe donc, par exemple, les éléments en pierre, pavés, etc ...
2. **Le recyclage**, qui permet d'obtenir des matières secondaires directement à partir du déchet par une action de transformation. Dès lors, les déchets d'aciers, plastiques, débris, déchets verts seront transformés en nouveaux métaux, pièces plastiques, sables, graviers, composts... Les débris seront traités dans les centres de concassages afin d'obtenir des granulats de haute qualité. Ils pourront ainsi être réutilisés dans les remblais, les fondations, les revêtements de chaussée, etc...
3. **La valorisation énergétique**, qui permet d'extraire les calories des déchets (chauffages, électricité,...). En ce qui concerne les déchets dangereux tels que l'amiante [IBGE.2007], la législation définit les règles à appliquer pour leur élimination.

Ainsi, depuis la mise en place du premier plan relatif à la Prévention et à la gestion des déchets 1992-1997, une diminution des déchets mis en décharge de l'ordre de 25% est observée, par rapport aux chiffres obtenus pour l'année 1995.

Il faut être conscient que la totalité du tri ne peut se faire totalement sur chantier car cela engendre des difficultés techniques considérables. [Regnier.2000]. Comme :

- le manque de place en ville qui ne permet pas le stockage de matériaux et donc l'assurance d'un tri correctement réalisé ;
- une certaine propreté des matériaux qu'il est nécessaire d'assurer (comme lorsque le bitume est attaché à une charpente, ces deux matériaux devront être séparés afin de permettre la valorisation des déchets) ;
- le coût supplémentaire de la main d'œuvre nécessaire pour effectuer le tri. Celle-ci devra suivre une formation adéquate ;
- le suivi des directives qu'il est nécessaire d'assurer ;
- la prestation pour le tri ;
- le choix du conteneur ;
- le versage des déchets.

Ce coût supplémentaire devra être comparé à celui qui sera reporté au stade de l'opérateur des déchets si le tri effectué sur chantier est nul. La conclusion des résultats permettra ainsi de se diriger vers le choix le plus optimum possible. [Regnier.2000]

Dans la Région de Bruxelles-Capitale, l'inexistence de centre d'enfouissement technique CET, oblige les entrepreneurs à passer directement dans les centres de tri. [IBGE. 2009]

Dans mon étude, j'ai considéré que le tri effectué était adapté. Celui-ci tient compte des aspects économiques, techniques et environnementaux, permettant ainsi de déterminer jusqu'où ira le tri en fonction des filières d'évacuation du type et des quantités de déchets produits (le tri devra tout de même être le plus précis possible). [Legrand. 2000]

Les déchets de la construction et de la démolition sont souvent classés en trois catégories : [Regnier. 2000] & [Courard. 2010]

| les inertes ou déchets de classe III | Les déchets industriels banals de classe II | Les déchets dangereux |
|---|---|---|
| Ces déchets ne subissent, en cas de stockage, aucune modification physique, chimique ou biologique importante. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique, chimique ou biologique de nature à nuire à l'environnement. | Ils comprennent les déchets non toxiques et non inertes. Ils peuvent parfois être assimilés au traitement des déchets ménagers. | Ils contiennent des substances nocives pour l'homme et l'environnement. Leur élimination nécessite des traitements dans des centres spécialisés, ainsi qu'un suivi particulier. |
| Exemples : pierres, terres, béton, gravats, verres, céramiques,... | Exemples : carton d'emballage, bois, palette, matières plastiques, métaux,... | Exemples : amiante, huiles usagées, piles,... |

Tableau 2 : Classement des déchets selon leur nature

Les méthodes du traitement des déchets de la construction et de la démolition dépendent donc du type de déchets. Le tableau ci-dessous, permet d'avoir une idée du traitement en fin de vie relatif au déchet considéré. [Courard. 2010]

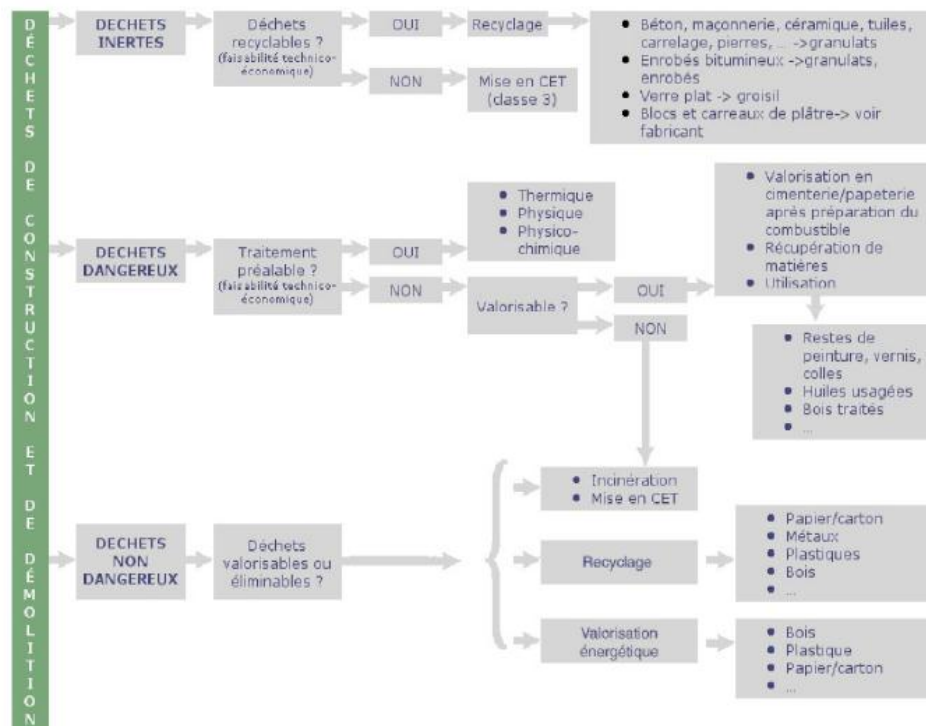


Figure 16 : Filières de recyclage des déchets de construction et de démolition [Courard. 2010]

Dans mon cas d'étude, j'ai considéré essentiellement le recyclage de quatre matériaux qui sont : le béton, l'acier, le bois et le verre. Il est donc important de parcourir les procédés utilisés en fonction de ces quatre matériaux.

1) Les déchets de démolition, permettant l'élaboration des granulats recyclés, sont souvent classés en cinq catégories de matériaux : [Courard. 2010] & [Durigneux. 2012]

- .1. les bétons propres, armés ou non ;
- .2. les matériaux propres mais composites (mixtes) (enrobés, briques, pierres,...) ;
- .3. les matériaux mélangés avec une faible teneur en plâtre et bois ;
- .4. les mauvais matériaux avec une teneur en bois et déchets supérieurs à 10% ;
- .5. les autres (matériaux terreux...)

Il existe trois types d'installations : mobiles (permettant de réaliser le recyclage directement sur chantier, pour une réutilisation directe des granulats obtenus), semi-mobiles, fixes (pour ce type d'installation, il y a lieu de ramener les matériaux en un endroit spécifique afin de réaliser le recyclage. Ceci permet d'éviter tout encombrement sur chantier, lorsque la place est insuffisante et également d'approvisionner d'autres chantiers avec le granulats recyclé obtenu. C'est ce genre d'installation qui sera choisie pour mon cas d'étude). L'installation de recyclage comprend les éléments principaux suivants, [Courard. 2010]

- a. réception des matériaux à traiter ;
- b. scalpage ;
- c. concassage (utilisation d'un broyeur industriel) ;
- d. extraction du fer par bande électromagnétique ;
- e. criblage.

Une évaluation de la consommation d'énergie est possible par un calcul assez simple, puisque la consommation du broyeur est connue soit : 530 MJ/heure. De plus, la capacité de ce dernier est de 120 tonnes/heures. [Hensenne.2011]

- 2) En ce qui concerne le recyclage de l'acier, deux procédés existent ; la fonte de l'acier dans un haut fourneau et celle dans un four à arc électrique, la consommation d'un tel type d'installation demande 0.7955 MJ/Kg. [Hensenne.2011]
- 3) Le bois quant à lui peut être broyé en copeaux pour ensuite être enrobé de colle et compressé. De cette manière, on obtient des panneaux de copeaux de bois. Pour ce type de procédure, un broyeur pour bois dont la consommation d'énergie s'élève à 400 MJ/h devra être utilisé. [Hensenne.2011]
- 4) En dernier lieu, le verre pourra être recyclé. La méthode consiste tout d'abord à briser le verre en petits morceaux (communément appelés calcin ou groisil). Ces derniers sont ensuite ajoutés à la silice et au carbonate de soude constituant les matières premières du verre. Un procédé de ce type demande une consommation d'énergie de 11MJ pour le recyclage d'1Kg de verre. [Hensenne.2011]

3.2.1.3. LA RÉNOVATION

3.2.1.3.1. PROCÉDÉ D'ISOLATION ET PRÉCAUTIONS PARTICULIÈRES

Comme nous l'avons précisé ci-dessus la rénovation fut la solution adoptée. Le but de cette rénovation était de conserver au maximum le caractère historique de la construction tout en adaptant ce dernier afin de répondre aux exigences de performance énergétique mais aussi fonctionnelles. A cet effet, plusieurs mesures ont été prises.

En ce qui concerne l'isolation, il a été choisi d'isoler l'entièreté de l'enveloppe du bâtiment plutôt que d'isoler certaines parties en particulier. Bien que cette solution reste la plus évidente pour satisfaire au mieux les exigences de performance énergétique, elle reste parfois difficile à traiter.

En effet, la volonté de conserver totalement le caractère art déco de la façade à rue entraîne son isolation par l'intérieur. Par contre du côté de la cour c'est-à-dire au cœur de l'îlot, le choix du placement de l'isolant est posé par l'extérieur.

Il a donc fallu apporter un soin supplémentaire aux différents nœuds de jonction entre isolant intérieur et extérieur.

Analysons maintenant les avantages et inconvénients de ces deux modes d'isolation.

| Mode d'isolation | Avantages | Inconvénients |
|------------------|---|--|
| Par l'extérieur | <ul style="list-style-type: none">• Suppression des risques de ponts thermiques locaux• Protection du mur contre le gel et les fissurations• Protection du mur contre la pluie battante• Amélioration de l'aspect extérieur en cas de revêtement extérieur dégradé• Conservation de l'inertie thermique• Conservation des volumes intérieurs | <ul style="list-style-type: none">• Modification de l'aspect extérieur• Coûteux car nécessite un nouveau parement ou enduit• Risque de pont thermique à la jonction mur-sol• Déplacement des descentes d'eau,• Isolation du retour de la baie, seuils remplacés |
| Par l'intérieur | <ul style="list-style-type: none">• Aspect extérieur conservé (pas de demande du permis d'urbanisme) | <ul style="list-style-type: none">• Pont thermique délicat à résoudre• Dégradation possible du mur extérieur suite à son refroidissement et à son humidification• Risque de fissuration à la suite des variations thermiques du mur extérieur• Volume intérieur diminué• Perte d'une partie de |

| | | |
|--|--|---|
| | | l'inertie thermique <ul style="list-style-type: none"> • Adaptation des tablettes de fenêtres... • Continuité du pare vapeur difficile à assurer (risque de condensation interne) |
|--|--|---|

Tableau 3 : Comparatif des avantages et inconvénients entre l'isolation par l'intérieur ou par l'extérieur. Sources : [Hauglustaine et al.2006] & [Goethghebuer. 2008]

Un troisième mode d'isolation existe, celui de l'isolation par remplissage de la coulisse dans le cas de mur creux. Il ne sera, toutefois, pas abordé dans le cadre de cette rénovation puisque, cette dernière présente des murs pleins en façade.

Comme nous pouvons le voir, l'isolation par l'extérieur est moins contraignante que l'isolation par l'intérieur, cette dernière reste, cependant, la seule solution envisageable lorsque l'alignement de façades est exigé ou comme dans ce cas, lorsque la conservation des caractéristiques de la façade existante est souhaitée. [De Meester.2009]

Nous retiendrons six risques majeurs liés à l'isolation par l'intérieur [Branders et al.2010]:

- **Les condensations superficielles et le risque de moisissure.** En effet, la présence de pont thermique engendre des déperditions de chaleur, ce qui provoque un refroidissement important de la surface intérieure du mur au droit même du pont thermique. L'air intérieur se trouvant à une certaine température donnée et contenant une certaine quantité d'humidité relative voit alors, elle aussi, sa température diminuée au voisinage de la surface concernée. Le problème réside dans le fait, que si cette température chute en-dessous du point de rosée (comme on peut le voir sur le **diagramme de Mollier**, ci-dessous), il y aura condensation suivie d'un développement possible de moisissures lorsque certaines conditions seront réunies. (humidité, température, oxygène, fond nourrissant)

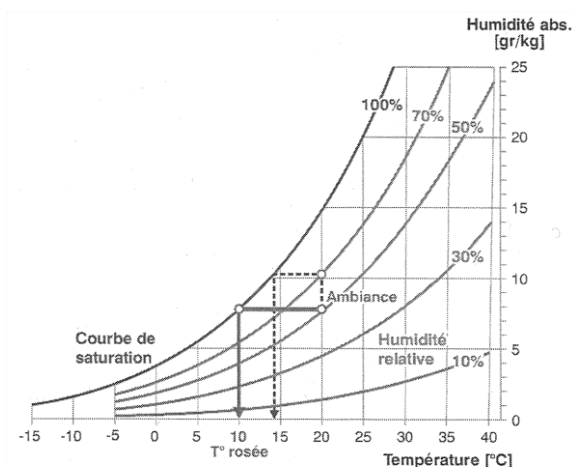


Figure 17 : Diagramme de Mollier. Sources : [Branders et al.2010]

- **Les condensations internes par diffusion.** Le climat Belge amène parfois des différences de températures importantes entre le milieu intérieur et extérieur. Le fait majeur, est que l'air chaud est apte à contenir une quantité beaucoup plus importante de vapeur d'eau que l'air froid. De plus, la pression de vapeur est aussi plus élevée à l'intérieur plutôt qu'à l'extérieur. Ceci crée donc un gradient de pression et provoque la migration de la vapeur par diffusion vers l'extérieur.

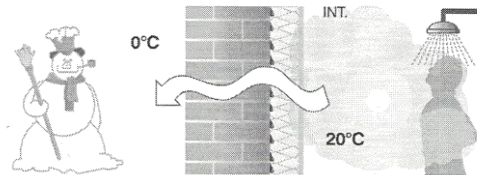


Figure 18 : Condensation interne par diffusion. Sources : [Branders et al.2010]

En traversant ainsi la paroi composée de divers matériaux, cette vapeur se refroidit et peut condenser de la même façon qu'au point précédent. Une précaution particulière permet d'éviter cette problématique en plaçant une membrane intelligente qui permettra d'empêcher la vapeur d'entrer dans la paroi en hiver et en été, laissera passer cette vapeur qui serait emprisonnée si la membrane était parfaitement étanche.

- **Les condensations internes par convection.** Elles proviennent d'un problème d'étanchéité à l'air de la paroi interne qui donne un laissez-passer à l'air humide intérieur pour passer à travers le mur et se refroidir progressivement comme dans le cas précédent. Elles ont un effet souvent plus important du point de vue des déperditions énergétiques, des condensations et moisissures que les ponts thermiques.

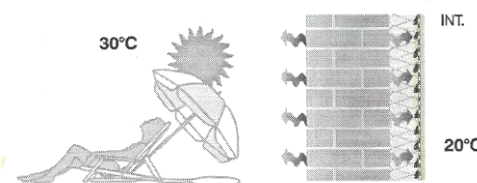


Figure 19 : Condensation interne par convection. Sources : [Branders et al.2010]

- **Les dégradations dues au gel ou aux dilatations de maçonnerie.** Le problème d'isoler par l'intérieur et comme nous l'avons dit plus haut : l'utilisation d'un pare vapeur réduit considérablement le « potentiel de séchage » du mur. Ainsi, le mur étant globalement plus froid et plus humide, gèlera très rapidement, en période hivernale, provoquant ainsi une augmentation de volume dans les pores de la brique et conduisant à une dégradation mécanique.

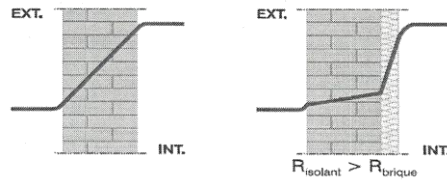


Figure 20: Effet sur le transfert de chaleur suite à la mise en place d'un isolant intérieur.
Sources : [Branders et al.2010]

- **Les efflorescences de sels.** Par temps de pluie, le fait d'avoir isolé par l'intérieur a tendance à influencer la quantité de sels dissous en l'augmentant (sel initialement présent dans la brique ou qui provient de sources extérieures). Ensuite, lors des premiers rayons de soleil, l'eau présente dans les pores de la brique s'évapore entraînant les sels qu'elle a préalablement dissous sur la face extérieure. Ce sel cristallise alors et provoque l'apparition de tâches blanchâtres. Ce type de désagrément est principalement esthétique.



Figure 21 : Efflorescence de sel.

- **La diminution de l'inertie thermique et le risque de surchauffe.** L'isolation par l'intérieur empêche la masse thermique du mur de participer aux différents échanges thermiques avec le milieu intérieur. En effet, le mur n'a plus la possibilité d'emmagasiner la chaleur pour la restituer progressivement à l'ambiance intérieure. Il peut donc avoir des risques de surchauffe si, aucune autre paroi ne peut jouer ce rôle et si les stratégies de ventilation et/ou de protection solaire sont inadéquates.

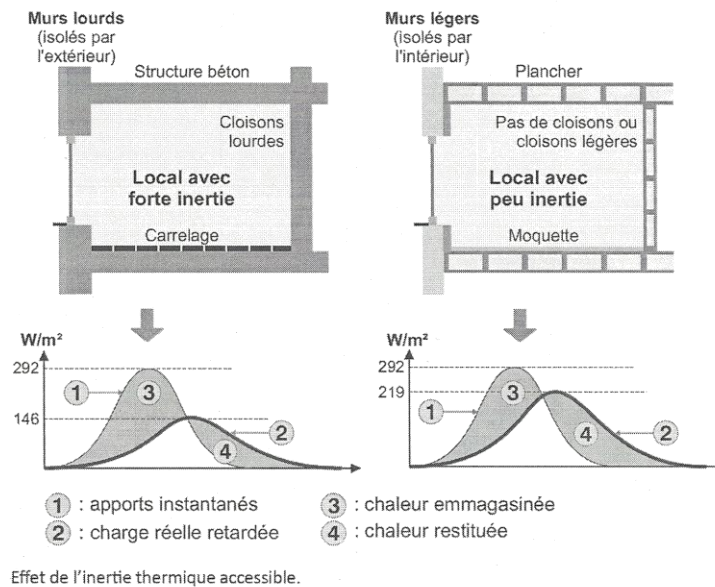


Figure 22 : Inertie thermique du bâtiment.

Sources : [Branders et al.2010]

Les phénomènes hygrothermiques et mécaniques traités ci-dessus, pourraient nuire à la durabilité des murs existants, si aucune attention particulière n'est réalisée lors de la conception mais aussi, lors de la pose de l'isolant par l'intérieur durant le chantier. Afin de ne pas faire fausse route et de prendre toutes les précautions nécessaires, il est important d'une part, de connaître les propriétés des parois existantes et d'autre part, de bien définir le contexte du projet. (Orientation, rayonnement solaire, pluie battante, climat intérieur, propriété de la maçonnerie, résistance thermique, diffusion de la vapeur d'eau, transfert d'eau liquide, ...) [Branders et al.2010]

Les résultats de ces études ont donc montré qu'il fallait apporter une précaution particulière au niveau :

➤ **de la structure poreuse de la brique.**

Dans notre cas d'étude l'évaluation, lors de la simulation réalisée par le bureau A2M avec le logiciel Wufi, du transfert d'eau liquide à travers le matériau a permis de constater que, l'isolation par l'intérieur de 20cm pourrait engendrer une accumulation d'humidité dans la paroi.

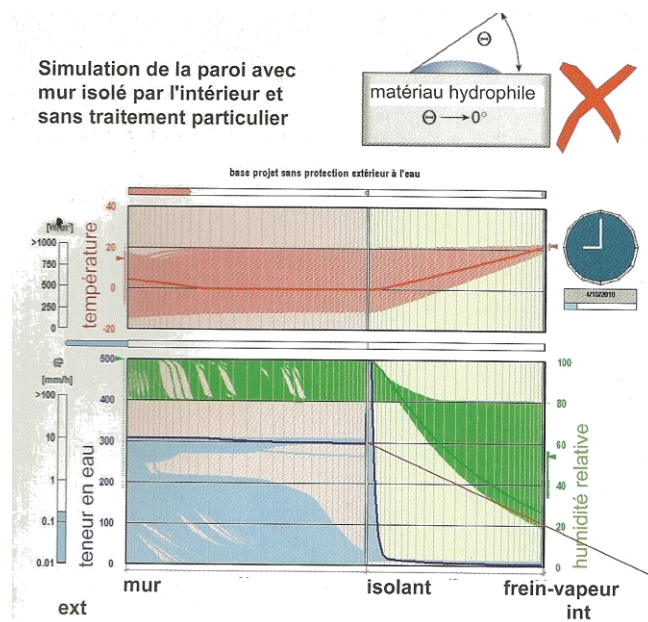


Figure 23: Simulation par Wufi : teneur en eau présente dans le mur
Sources : [Cohen M. 2008]

De manière à solutionner le problème, le bureau A2M a choisi de travailler avec le bureau Tecnicem, ce dernier leur a proposé d'utiliser un hydrofuge de façade à base de composés organosiliciés (ces derniers n'obstruant pas les pores de la surface, contrairement aux revêtements filmogènes à base d'acryle, de résine époxy,...) [Cohen. 2008] & [Willem. 2012] Il réduit ainsi la tension superficielle du support traité permettant ainsi une barrière contre la pénétration d'eau liquide, tout en laissant passer la vapeur d'eau afin de laisser ainsi respirer le mur. Les nouveaux résultats ainsi obtenus par Wufi sont beaucoup plus favorables.

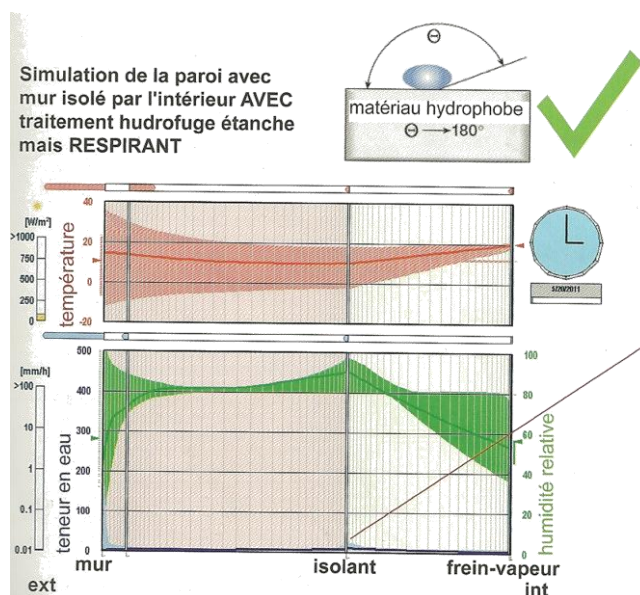


Figure 24 : Simulation par Wufi : teneur en eau présente dans le mur après traitement
Sources : [Cohen M. 2008]

Le test de l'efficacité de cet hydrofuge a été confirmé à l'aide de la pipe de Karsten. Ce test consiste à soumettre la surface à une pression correspondant à 98mm de hauteur d'eau.



Figure 25 : Test de perméabilité à l'aide de la pipe de Karsten. [Willem.2012]

Elle correspond à un vent de l'ordre 142,5Km/h perpendiculaire à la surface. Les résultats sont donnés par le degré d'absorption d'eau qui est évaluée en ml durant la période de 5 à 15 minutes. Dans notre cas, le test s'est avéré concluant puisque l'absorption était nulle. Comme nous le prouve un exemple de bâtiments situés en Allemagne, pour lesquels l'hydrofuge a été testé en façade, le renouvellement du test a été effectué après 54 ans et montre toujours des résultats incontestables. Cet hydrofuge suit la conformité EN 1504-2. [technichem. XXXX]

➤ **des détails techniques.**

En effet, le fait de vouloir s'inscrire dans des performances basses énergies impose le devoir de continuer du mieux possible l'isolation intérieure tout en évitant la création de pont thermique. Pour cela, diverses solutions existent afin de contrer le problème. On observe bien souvent, dans la littérature et auprès de différents architectes, que la solution envisagée est le retour d'isolant sur plancher ce qui permet ainsi d'augmenter le chemin de plus longue distance et d'éviter ainsi le pont thermique. Le problème de cette solution est l'encombrement important au sol qu'elle traduit. On voit, cependant, à ce jour se développer des meubles sur mesure permettant ainsi de dissimuler la couche supplémentaire d'isolant tout en ayant des espaces de rangement intéressant.

D'autres solutions peuvent être envisagées mais relèvent parfois de la complexité. Surtout réalisé lorsque le plancher est en bois, il est possible de couper le gîtage avant son appui pour le faire reposer ensuite sur une poutre filière intermédiaire qui quant à elle, est fixée au mur. Ceci permet de garder une isolation parfaitement continue tout le long de la façade. [De Meester.2009] En ce qui concerne la rénovation du CPAS de Forest, les maîtres d'œuvre ont opté pour cette dernière solution. Bien que peu commune, cette solution reste innovante dans le cas de cette rénovation et relève parfois de la prouesse au niveau de la stabilité de la construction puisque dans le cas présent, nous avons affaire à des dalles en béton. Pour ce faire, une entaille a été réalisée le long de la façade à rue de façon à y placer l'isolant et ainsi, assurer la continuité parfaite de l'isolation le long de la façade. Ce détail demande donc la réalisation d'une nouvelle structure afin d'assurer la reprise des charges qui était initialement assurée par l'ancrage de la dalle dans le mur de façade et n'est maintenant plus possible par la réalisation de cette coupure. Cette nouvelle structure est alors assurée par la présence de poutres métalliques IPE dans la saignée préalablement réalisée. Celles-ci sont ancrées à la façade grâce à des ancrages chimiques et reposent à chaque fois sur 2 appuis (des colonnes en béton armé assurant ainsi le transfert des charges jusqu'en fondation).



Figure 26 : Saignée réalisée dans la dalle de béton existante & mise en place de la poutre métallique avec barres d'attente pour les colonnes en béton armé futures. [Willem.2012]

N'ayant aucune information sur le type de ces IPE, j'ai recours à la documentation **Acier S 235 JR G2 selon NFEN 10-025**. Afin de vérifier si aucun pont thermique n'est créé, on peut avoir recours à l'utilisation du logiciel Kobra qui est mis à notre disposition sur le site du CSTC, Centre scientifique et technique de la construction.

Sur base de ce logiciel, on obtient donc les résultats suivants,

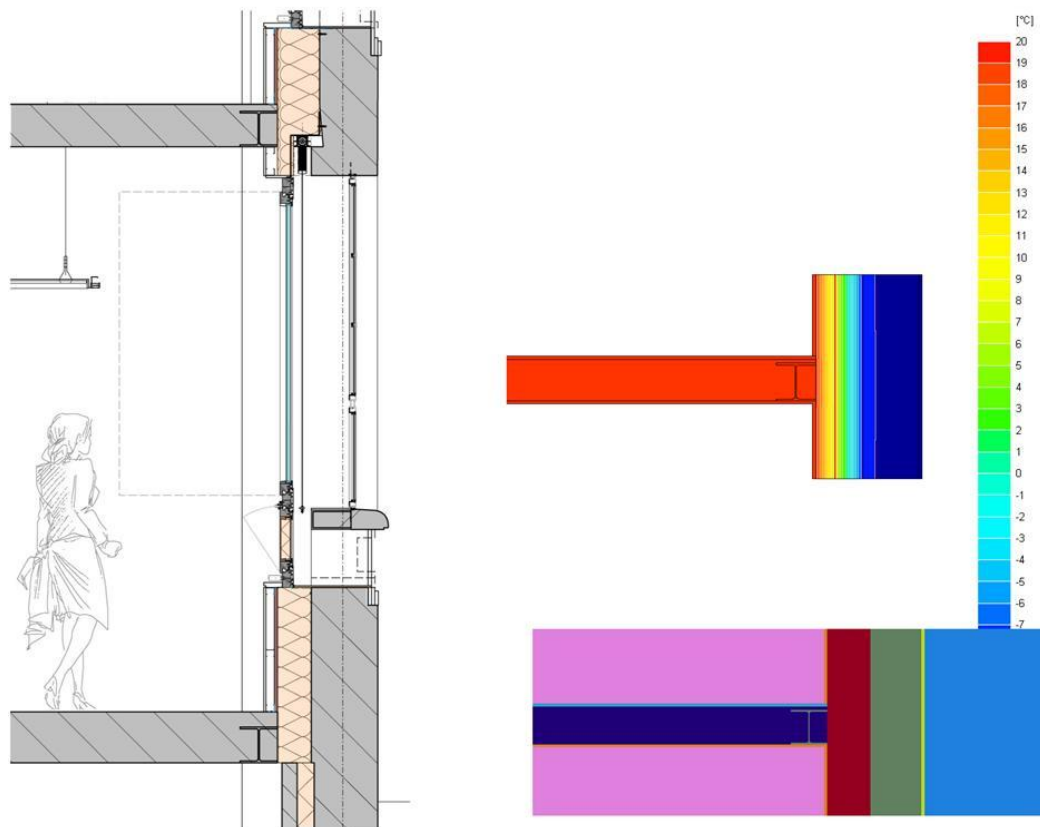


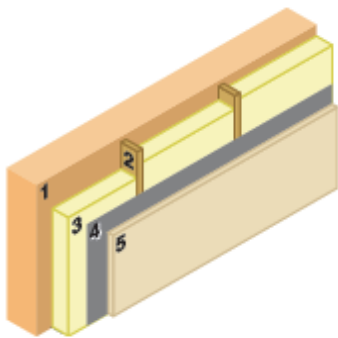
Figure 27 : Détail technique d'un nœud constructif, vérification de l'absence de pont thermique par le logiciel Kobra. [Willem.2012]

- **Étanchéité à l'air de la construction.** Elle définit sa capacité à empêcher l'air à traverser la paroi de l'intérieur vers l'extérieur et inversement. Elle est quantifiée par un débit de fuite qui traverse la paroi sous un écart de pression de 50 Pa, entre le milieu intérieur et extérieur. Cette notion d'étanchéité à l'air n'est pas souvent bien comprise par la population. En effet, pourquoi rendre étanche un bâtiment alors que l'on doit le ventiler en même temps ? Le problème est qu'un défaut d'étanchéité à l'air d'une construction entraîne des fuites d'air incontrôlées. Dans certains locaux, cet état de fait engendre un renouvellement d'air excessif qui ne permet plus le chauffage efficace du local et génère une surconsommation énergétique. Tandis que, dans d'autres cas, le taux de renouvellement devient nul du fait de l'étanchéité importante de la paroi. Ce résultat provoque des situations d'inconfort important auprès des occupants qui peuvent avoir des conséquences néfastes sur leur santé. La ventilation hygiénique est quant à elle contrôlée et, permet un renouvellement d'air régulier pour chaque local. Bien qu'aujourd'hui, les exigences afférentes à cette étanchéité à l'air sont encore énumérées de façon indirecte, elles sont déjà insérées dans le calcul de la consommation d'énergie primaire en tant qu'infiltration et exfiltration. Elles deviendront incontournables puisque, au fur et à mesure des années, les exigences pour la

consommation d'énergie seront d'autant plus sévères. L'étanchéité pourra être de nature différente selon la paroi considérée. [CSTC. 2012/1]

C'est le cas pour le CPAS de Forest. On y retrouve ainsi trois types de barrières à l'air :

Pour les façades à rue, l'isolation est intérieure et le mode constructif choisi est un système à structure (qui permet de rectifier les défauts de planéités), comme représenté ci-dessous. Ce sont donc ici les panneaux d'OSB qui jouent ce rôle, une attention particulière a été réalisée au niveau des joints en plaçant des bandes adhésives limitant ainsi les infiltrations éventuelles.



1. Mur existant en brique
2. Ossature en bois
3. Isolation: flocons de Cellulose
+ Isolant rigide
4. Pare ou freine vapeur
5. Finition intérieure : panneaux OSB

Figure 28 : Détail d'un mur de façade isolé par l'intérieur.

Pour les façades isolées par l'extérieur, c'est le plafonnage qui joue ce rôle.

Pour les toitures plates, c'est la **membrane Intello + de proclema**. [Willem. 2012]

Un tel choix demande de prêter une attention particulière aux différents nœuds constructifs (jonction toitures façade,...) [CSTC. 2012/1]

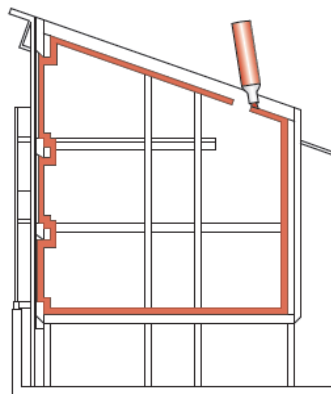


Figure 29 : Procédure d'isolation.

Après rénovation, la mesure de l'étanchéité à l'air a été effectuée par la technique appelée « Blower Door ». Elle consiste à introduire à l'aide d'un ventilateur, une différence de

pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment après avoir fermé toutes les ouvertures de ce dernier (portes,...)



Figure 30: Mesure de l'étanchéité à l'air par la méthode « Blower Door ». [Willem.2012]

Le taux de renouvellement d'air du CPAS de Forest atteint les 1,3 Vol/h, ce qui est assez bon surtout dans le cas d'une rénovation.

3.2.1.3.2. COMPOSITIONS DES PAROIS ET EXIGENCE DE LA PEB POUR LE BÂTIMENT RÉNOVÉ

Cfr. Annexe 14, coupe S330

Comme nous l'avons vu précédemment dans le chapitre de la réglementation PEB, selon la paroi étudiée, le transfert de chaleur au travers d'une paroi, est limité par la valeur du coefficient de transmission thermique U. Il est aisé de déterminer les coefficients de transmission thermique U_i relatifs à chaque paroi du bâtiment lorsque la composition de celles-ci sont entièrement connues. Les valeurs de U_i ainsi obtenues peuvent alors être comparées aux valeurs limites U établies par les normes. [André.2010]

$$U_i = \frac{1}{R_{tot}}$$

Avec, R_{tot} représentant le coefficient de résistance thermique totale de la paroi

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{int}} + \sum_i R_{i, mat} + \frac{1}{h_{ext}}$$

Avec, $R_{i,mat}$ s'exprime en $m^2.K/W$ et représente le coefficient de résistance thermique du matériau i . C'est le rapport entre l'épaisseur du matériau i , e_i [m], comptée dans le même sens de traversée du flux de chaleur au travers de la paroi et le coefficient de conductivité thermique du matériau i , λ_i [W/mK]. Ce coefficient λ représente une quantité de chaleur transférée par unité de surface et par unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre.

h_{int} et h_{ext} sont respectivement le coefficient d'échange thermique superficiel entre la paroi et l'ambiance soit, intérieure soit, extérieure. Ils sont tous deux exprimés en $W/m^2.K$

Ils quantifient le transfert de chaleur réalisé par convection et par rayonnement entre l'ambiance intérieure ou extérieure et la face intérieure ou extérieure d'une paroi.

Comme on peut le voir dans la norme ISO 6946:2007 (E) [ISO.2007]. Ces deux valeurs dépendent de la direction du flux de chaleur, ce dernier se développe dans le sens de l'ambiance la plus chaude vers l'ambiance la plus froide.

On y retrouve le tableau suivant, pour lequel les valeurs h_{int} et h_{ext} sont déduites de R_{int} et R_{ext} par la simple formule, $R = 1/h$

| Résistance thermique $m^2.K/W$ | Direction du flux de chaleur | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------|-------------|
| | Vers le haut | Horizontal | Vers le bas |
| R_{int} | 0,1 | 0,13 | 0,17 |
| R_{ext} | 0,04 | 0,04 | 0,04 |

Tableau 4: Valeurs des résistances thermiques pour l'ambiance extérieur et intérieur, norme ISO 6946:2007 (E) [ISO.2007]

Un cas particulier doit intervenir dans notre calcul puisqu'en effet, lors de la rénovation du CPAS de Forest, la volonté d'avoir une isolation continue le long de la façade a été comme nous l'avons décrit précédemment, de couper dans la dalle de béton. Afin de ramener les charges au sol et d'assurer la stabilité de la structure, il a donc été nécessaire de recourir à un nouveau principe structural (poutre IPE et colonne en béton armé), qui donne lieu à une structure portante ponctuelle.

Les formules précédemment établies ne permettent malheureusement pas de tenir compte de ces éléments ponctuels. Il y a donc lieu, ici, de faire un effort supplémentaire dans le calcul afin, de prendre en compte les éventuels ponts thermiques qui pourraient apparaître à ce niveau de jonction si aucun détail spécifique n'a été prévu et que l'élément métallique est en contact avec le milieu extérieur. Si tel est le cas nous verrons une augmentation importante du coefficient U_i . Afin de répondre à ce paramètre, nous avons recours au logiciel Kobra comme vu précédemment [CSTC]

En ce qui concerne les valeurs λ des différents matériaux j'ai consulté les différentes bases de données mis à ma disposition (INIES, BEES, CRTI...)

Les valeurs obtenues pour les couches d'air sont, quant à elles, tirées d'un tableau spécifique,

| Épaisseur d de la couche d'air [mm] | Direction du flux thermique | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|------------|
| | ascendant | horizontal ⁽¹⁾ | descendant |
| $0 < d < 5$ | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| $5 \leq d < 7$ | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| $7 \leq d < 10$ | 0,13 | 0,13 | 0,13 |
| $10 \leq d < 15$ | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| $15 \leq d < 25$ | 0,16 | 0,17 | 0,17 |
| $25 \leq d < 50$ | 0,16 | 0,18 | 0,19 |
| $50 \leq d < 100$ | 0,16 | 0,18 | 0,21 |
| $100 \leq d < 300$ | 0,16 | 0,18 | 0,22 |
| 300 | 0,16 | 0,18 | 0,23 |

⁽¹⁾ valable pour une direction du flux de chaleur qui ne dévie pas de plus de $\pm 30^\circ$ du plan horizontal.

Figure 31 : Valeur déterminée selon l'épaisseur de la couche d'air. Source : <http://www.energieplus-lesite.be>

➤ Fenêtres



Figure 32 : Photo de l'implantation des doubles châssis. [Willem.2012]

En ce qui concerne la façade à rue, la volonté était de conserver les châssis existants métalliques avec simple vitrage de manière à garantir l'aspect originel de la façade existante. Il fallait tout de même améliorer la résistance thermique de cette surface ponctuelle. La solution a donc été de placer en arrière du châssis existant (du côté intérieur) un nouveau châssis en bois double vitrage.

De cette façon, les caractéristiques thermiques ont été nettement améliorées puisqu'il profite des caractéristiques thermiques du châssis existant (même si elles sont médiocres), du nouveau châssis mais aussi d'une couche d'air de 30cm séparant ces deux châssis.

Le seul inconvénient est qu'il n'est, dès lors, plus aussi facile pour les occupants d'ouvrir la fenêtre

Pour obtenir, le coefficient de transmission thermique U_w d'une fenêtre, il est nécessaire d'appliquer la formule suivante,

$$U_w = \frac{U_g * A_g + U_p * A_p + L_g * \lambda_g}{A_g + A_p}$$

avec, A_g qui représente la surface vitrée, A_p la surface du châssis, U_g et U_p représentant respectivement le coefficient thermique du vitrage et du châssis, L_g étant le périmètre du vitrage et λ_g le coefficient de transmission thermique de la jonction entre le vitrage et le châssis.

Prenons un exemple faisant partie de notre rénovation,

| | Châssis simple vitrage | Châssis double vitrage |
|---------------------------------|------------------------|------------------------|
| Largeur totale (m) | 1 | 1 |
| Hauteur totale (m) | 1,2 | 2 |
| Largeur du châssis (m) | 0,06 | 0,04 |
| A_g | 0,936 | 1,76 |
| A_p | 0,264 | 0,24 |
| U_g (W/m²K) | 5,7 | 1,1 |
| U_p | 6 | 1,6 |
| L_g | 3,92 | 5,68 |
| λ_g | 0,046 | 0,046 |
| U_w | 5,91 | 1,29064 |

Tableau 5 : Caractéristiques des fenêtres utilisées.

Ensuite, par le même calcul que précédemment, on peut trouver la valeur de U si les 2 vitrages sont mis l'un derrière l'autre :

$$U_i = \frac{1}{R_{tot}}$$

$$R_{tot} = \frac{1}{h_{int}} + \sum_i R_{i, mat} + \frac{1}{h_{ext}}$$

$$R_{tot} = 0.13 + \frac{1}{U_{w, double\ vitrage}} + R_{air} + \frac{1}{U_{w, simple\ vitrage}} + 0.04$$

$$R_{tot} = 0.13 + \frac{1}{1.29} + \frac{0.3}{\frac{0.3}{0.16}} + \frac{1}{5.91} + 0.04$$

$$R_{tot} = 1.23$$

$$U_i = 0.8$$

Le fait d'avoir doublé la fenêtre permet d'atteindre des performances de l'ordre du triple vitrage (U_{triple} de l'ordre de 0.6)

Remarques : Des grilles de ventilations sont, maintenant, incorporées dans les châssis de façon à permettre une ventilation hygiénique car avant, avec le vitrage peu isolant, la présence de condensation sur la vitre permettait de savoir de suite, si le local devait être aéré ou non). Aujourd'hui, si aucun dispositif de ventilation n'est prévu, l'utilisation de vitrages plus performants engendre un problème direct de condensation sur le mur.

➤ Façade à rue

| | Compositions | Epaisseur mm | R, Résistance thermique m²K/W |
|---|-----------------------|--------------|-------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Enduit hydrofuge | | |
| | Brique pleine | 360 | 0,38 |
| | Cellulose | 201 | 4,73 |
| | Panneau isolant celit | 18 | 0,36 |
| | Étanchéité | 1,2 | |
| | Panneaux OSB | 22 | 0,17 |
| | Coulisse ventilée | 60 | 0,75 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 | 0,06 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,1510 |

Ponctuellement, à la jonction des planchers est placée une poutrelle en acier (soutenue elle-même par des colonnes de béton armé).

➤ Façade côté cour

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|----------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Enduit à la chaux | 1 | |
| | EPS | 132 | 3,88 |
| | Brique pleine | 360 | 0,38 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2247 |

➤ Façade nouvelle en R+2, à rue

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|--------------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Résine thermodurcissable | 10 | |
| | Panneaux isolants celit | 18 | 0,36 |
| | Cellulose | 150 | 3,53 |
| | Panneaux OSB | 22 | 0,17 |
| | Coulisse ventilée | 50 | 0,63 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 | 0,06 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2032 |

➤ Façade nouvelle en R+2, côté cour

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|------------------|-------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Enduit à la chaux | 1 | |

| | | | |
|---|--------|-----|--------|
| | EPS | 132 | 3,88 |
| | Brique | 190 | 0,20 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2341 |

➤ Façade nouvelle du local technique

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Bardage bois | 22 | 0,17 |
| | Frein vapeur | 10 | |
| | EPS | 110 | 3,24 |
| | Brique | 140 | 0,15 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2666 |

➤ Façade enterrée (partie existante)

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Re | | | |
| Extérieur | Brique pleine | 360 | 0,38 |
| | EPS | 135 | 3,97 |
| | Bloc de béton | 90 | 0,04 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2202 |

➤ Façade enterrée (partie nouvelle)

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | |
| Extérieur | Bloc béton | 390 | 0,19 |
| | EPS | 105 | 3,97 |
| | Bloc de béton | 90 | 0,04 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2298 |

➤ Façade mitoyenne

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0,13 |
| Intérieur | Brique pleine | 360 | 0,38 |
| | Colonne en béton | 150 | 0,07 |
| | EPS | 125 | 3,68 |
| | Bloc de béton | 90 | 0,04 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0,02 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2247 |

➤ Toiture annexe

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|------------------|----------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Végétation extensive | | 1,15 |
| | Substrat fertile | 150 | 1,15 |
| | Membrane filtrante | 1,2 | |
| | Couche drainante PS | 62 | 0,09 |
| | Etanchéité | 4 | |
| | Laine minérale | 80 | 1,88 |
| | Béton de pente | 70 | 0,03 |

| | | | |
|---|----------|-----|--------|
| | Prédalle | 110 | 0,05 |
| | Prédalle | 60 | 0,03 |
| Intérieur | | | |
| Ri | | | 0,10 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,2212 |

➤ Toiture principale

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Re | | | 0,04 |
| Extérieur | Etanchéité | 4 | 0,02 |
| | Laine minérale | 50 | 1,18 |
| | Panneaux OSB | 22 | 0,17 |
| | Panne | 230 | 0,12 |
| | Cellulose | 230 | 3,52 |
| | Frein vapeur | 1,2 | |
| | Plaque de plâtre | 25 | 0,12 |
| | Coulisse ventilée | 50 | 0,63 |
| | Plaque de plâtre | 10,5 | 0,03 |
| Intérieur | | | |
| Ri | | | 0,10 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,1686 |

➤ Dalle de sol

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Re | | | |
| Extérieur | Dalle de béton | 120 | 0,07 |
| | PUR projeté | 60 | 2,45 |
| | Chape | 60 | 0,05 |
| Intérieur | Carrelage | 10 | 0,01 |
| Ri | | | 0,17 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,3636 |

➤ Planchers intermédiaires R+2

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|--|------------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0,13 |
| Intérieur | Parquet en bois massif | 10 | 0,08 |
| | Dalle de béton | 230 | 0,11 |
| | Coulisse ventilée | 287 | 1,79 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 10,5 | 0,03 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,4166 |

➤ Planchers intermédiaires R+1

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|--|------------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0,13 |
| Intérieur | Parquet en bois massif | 10 | 0,08 |
| | Dalle de béton | 250 | 0,11 |
| | Coulisse ventilée | 817 | 5,11 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 10,5 | 0,03 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,1788 |

➤ Planchers intermédiaires R

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|--|------------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0,13 |
| Intérieur | Parquet en bois massif | 10 | 0,08 |
| Intérieur | Dalle de béton | 300 | 0,14 |
| Ri | | | 0,13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0,48 |

➤ Cloisons intérieures (existante)

| | Compositions | Epaisseur mm |
|------------------|----------------------|-----------------|
| Intérieur | Plâtre | 13 |
| | Brique pleine | 360/240/180/120 |
| Intérieur | Plâtre | 13 |

➤ Cloisons intérieures (nouvelle)

| | Compositions | Epaisseur mm |
|------------------|---------------|--------------------|
| Intérieur | Plâtre | 13 |
| | Bloc de béton | 290/270/190/140/90 |
| Intérieur | Plâtre | 13 |

| | Compositions | Epaisseur mm |
|------------------|------------------|--------------|
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 |
| | Laine de roche | 61,5 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 |

3.2.1.3.3. TECHNIQUES SPÉCIALES

➤ Echangeur air-air

Le système choisi est donc une ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur, HR 3000 (voir feuille technique en annexe). Le rendement thermique de l'appareil récupérateur est de 90%, ce qui correspond à un très haut rendement. Les besoins d'alimentation en air neuf ainsi que d'extractions de l'air vicié sont calculées selon les surfaces de planchers intérieurs en considérant les débits de ventilations nominaux pour les locaux considérés. Une adaptation continue et automatique des débits par rapport aux valeurs de consignes est permise par la mesure continue des débits entrants et sortants.

➤ Panneaux photovoltaïques

Une surface de 30m² de panneaux photovoltaïques est placée en toiture, la pente du capteur est de 35° et son orientation Sud permet de maximiser les apports solaires.

➤ Chaudière à condensation au gaz

Système de chauffage central au gaz permettant le chauffage des locaux ainsi que celui de l'eau chaude sanitaire. Son rendement est très haut puisqu'il s'élève à 110,5%.

Les émetteurs choisis sont des radiateurs.

- Gestion technique centralisée avec
 - stores automatiques

- ventilation de nuit (stratégie passive de refroidissement)
- détecteurs de présence sur tous les luminaires (lampes TL5)

Remarque : Il faut être conscient de la contradiction qui peut apparaître entre les normes de préventions d'incendie fixées par l'Arrêté Royal pour certains bâtiments tels que les immeubles de bureaux,... avec le besoin de ventilations nécessaires pour les gaines techniques et d'ascenseurs. La solution qui permet de répondre aux exigences de ventilation des gaines d'ascenseur d'une section minimale de 1 ou 4% de la surface horizontale de celles-ci est alors, de munir l'ouverture de ventilation d'un clapet motorisé. Il peut, ainsi, s'ouvrir automatiquement en cas de besoin de renouvellement d'air. [Branders et al.2010]

3.2.2. DEMOLITION/RECONSTRUCTION-DESCRIPTION DES INTERVENTIONS REALISEES

3.2.2.1. LA DÉMOLITION TOTALE

La démolition en ville est pour la plupart du temps beaucoup plus contraignante qu'une rénovation (même si cette dernière peut être, elle aussi, très lourde).

En effet, comme dans toute construction, déconstruction et rénovation, avant d'entamer le chantier il conviendra de prêter attention au voisinage. Un état des lieux prévisionnel permettant ainsi lors du chantier, d'éviter d'éventuels litiges est, tout à fait requis. [Philip et al. 2006]

De plus, par sa situation en ville, le bâtiment a plus de chance de se retrouver bien souvent encastré entre 2 maisons mitoyennes, comme c'est le cas pour cette étude pratique. Il y a donc intérêt d'étudier préalablement et avec précision l'impact que peut produire une telle démolition sur le voisinage. Cette question sera dès lors abordée dans l'étude de stabilité.

Selon le type de structure auquel nous avons à faire, le principe de soutènement des façades sera différent. En effet, un épinglage sera prescrit lorsque la structure de l'immeuble attenant est composée d'hourdis en béton, par exemple. Celle-ci est composée d'une tige filetée fixée chimiquement dans la structure en béton. Ensuite, on positionne un profil UPN d'une longueur suffisante (de l'ordre du mètre) assure ainsi la répartition des forces sur le mur. Lorsque, par contre, les planchers sont en bois il est indispensable d'aller chercher le mur de refend. [Durigneux. 2012]

En plus du voisinage, il y a lieu de se préoccuper d'une tout autre nuisance que peut apporter la démolition totale d'un bâtiment, **la voirie**. En effet, lorsque la parcelle de terrain n'offre pas de possibilité pour l'installation du chantier, celle-ci fait résidence sur la voirie, obstruant, ainsi toute circulation pendant une certaine durée.

Dans notre cas, cette installation s'effectuera dans la rue de Liège, dont la voie est à sens unique. Selon la législation en vigueur, si la durée d'installation ne dépasse pas la journée ou si elle est

occupée seulement par des engins mobiles (qui permettent ainsi le passage, en prenant bien soin d'installer des passages sécurisés pour les piétons,...) alors le chantier n'est pas considéré comme « résident ». Dans ce cas de figure, aucun frais supplémentaire n'est ajouté.

Par contre, lorsque le chantier est bien considéré comme « résident », l'entreprise de démolition est dans le devoir de verser une redevance aux autorités car elle devient locataire de la voirie. Ceci génère des coûts supplémentaires allant jusqu'à 1 euros/m²/jour. [Durigneux. 2012]

De nouveaux coûts sont également facturés lorsque l'entreprise de démolition ne rend pas la voirie dans son état initial. Et ce, en se basant sur l'état des lieux réalisé préalablement au chantier. Il y a donc lieu de prendre les précautions adéquates du fait même de l'utilisation d'engins de démolition qui atteignent parfois les 50 tonnes. [Demo JV SA. 2012]

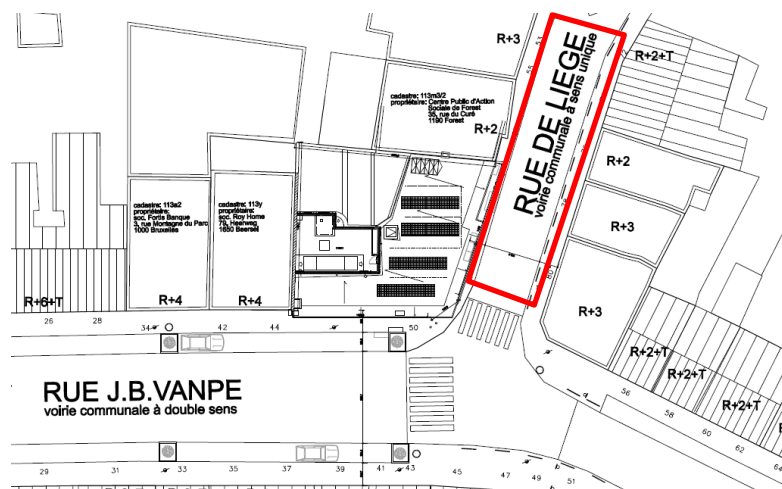


Figure 33 : Implantation pour le chantier de démolition : CPAS de Forest [A2M.2012]

Après discussion avec Monsieur Durigneux, **Directeur** de l'entreprise de démolition HUBLET située à Floreffe (Belgique) au sujet de notre chantier. Il apparaît que pour pouvoir commencer celui-ci différentes règles sont à suivre, comme :

Pour le Maître d'Ouvrage,

- Documents à obtenir :

- * les autorisations ;
- * le permis d'urbanisme (concernant la démolition totale du bâtiment) ;
- * les études préalables (de stabilité, de connaissance des différents matériaux mis en œuvre...).

- Modalités techniques à convenir les impétrants (réseaux aériens ou sous terrain).

- * une demande auprès des différentes sociétés responsables des réseaux en matière d'électricité (Electrabel), de gaz (...), d'eau (...), de téléphone (...) etc...,
 - voir s'il est nécessaire d'en déconnecter ?
 - réaliser des tranchées ?

- après les travaux, prévoir ou adapter de nouvelles connexions?

A charge du démolisseur ou du terrassier (si terrassement le long de la voirie public).

- Modalités techniques à convenir avec les impétrants dans le cas où, des câbles enterrés appartiennent à l'armée.

* mêmes démarches que pour le point ci-dessus.

Il y a donc lieu de prendre toutes les précautions nécessaires afin de ne pas négliger ces obligations. Il est, bien sûr, évident que ces coûts et ces démarches n'existent (plus ou peu) lors d'une rénovation si, pour celle-ci l'installation est suffisante.

Remarques importantes : des surprises peuvent parfois mettre le chantier à l'arrêt complet impliquant des retards considérables sur la fin du chantier. C'est le cas lorsque, par exemple, de l'amiante est découverte au cours du chantier (cfr. notre bâtiment du CPAS de Forest où de l'amiante a été trouvée en cave ; en cause la présence de calorifuge qui permettait dans le passé d'isoler les gaines techniques, les joints de chaudière et les locaux non chauffés).

En rénovation, cela ne pose pas vraiment de problème car le chantier peut continuer à se dérouler. Par contre, pour éviter toute insécurité, en ce qui concerne la démolition du bâtiment, le chantier est mis à l'arrêt total. [Région wallonne.2009]

Pour le calorifuge en cave.

2 types de déclaration en fonction de la quantité,

- *Si 5 à 10 mct de calorifuge : 26.65.03.04.01 soumis à déclaration classe 3 : **15 jours** de délais pour cette déclaration, suivis (normalement de manière cumulative) par la notification au SPF (**15 jours également**)*
- *Si plus de 10 mct de calorifuge : 26.65.03.04.02 et donc soumis à permis classe 2 Permis classe **60 à 90 jours**, suivi (normalement de manière cumulative) par la notification au SPF (**15 jours également**)*

Notre démolition ici envisagée peut être plus répertoriée dans la rubrique de déconstruction dans le sens, où les engins utilisés permettent de séparer les différents déchets tels que le bois, le béton, l'isolant,... Le secteur de la démolition essaie d'ailleurs d'aller dans ce sens et ce, afin de faciliter le tri directement sur chantier et ainsi, réduire les frais de recyclage.

Le bâtiment existant sera tout d'abord vidé de fond en comble, démontant ainsi portes, fenêtres,... Ces déchets sont principalement de type bois ou de classe 2, ils seront donc triés puis placés dans un container pour les transporter jusqu'au centre de tri adapté à leur fin de vie. Le système de

classement ainsi que le centre relatif à la fin de vie de chaque matériau seront étudiés plus en détail ci-après.

Lorsque cette tâche, correspondant en quelque sorte à la préparation du chantier, est terminée, la réalisation des coupures de liaison entre les murs mitoyens peut commencer. Ce n'est qu'ensuite que peuvent intervenir les engins de démolition. Ces derniers sont choisis en fonction du type de bâtiment à démolir ainsi que différents paramètres tels que la situation de ce dernier mais également beaucoup d'autres choses aussi.

Dans le cas présent (le CPAS de Forest), ce dernier présente une hauteur assez faible (ne s'élevant au maximum qu'en R+1), soit une hauteur relative de 10m. Il est donc plus judicieux d'utiliser une pelle hydraulique de taille moyenne correspondant ainsi à 30 Tonnes. [Durigneux. 2012] Celle-ci sera alors équipée de différents outils selon l'utilisation considérée, on y retrouve, [Arden Equipment.2012]

- La pince de démolition et de tri.



Figure 34 : équipement de démolition 1 [Portail Arden Equipment.2012]

- Le broyeur à béton hydraulique.



Figure 35 : équipement de démolition 2 [Portail Arden Equipment.2012]

- Le marteau brise roche hydraulique.



Figure 36 : équipement de démolition 3 [Portail Arden Equipment.2012]

- La cisaille à ferrailles hydraulique.



Figure 37 : équipement de démolition 4 [Portail Arden Equipment.2012]

Une nacelle sera également utilisée durant le chantier, celle-ci est nécessaire pour faciliter le déplacement de ces derniers ainsi que pour transporter différents outils.

Un autre engin de taille plus petite sera, lui, utilisé afin de charger les camions et donc présent sur le chantier pendant une période plus courte. Il s'agit de, la grue de chargement à pneu d'un poids atteignant les 20 tonnes.

Ensuite, les camions de chargement présents pour transporter les déchets jusqu'aux centres spécifiques, seront dimensionnés suivant l'estimation du métré de déchets à évacuer, voir ci-après.

Le métré de la démolition totale se trouve en annexe 11.

3.2.2.2. LE RECYCLAGE

Cfr. Chapitre 3.2.1.2.

3.2.2.3. LA CONSTRUCTION DU NOUVEAU BÂTIMENT

En ce qui concerne, le principe constructif du nouveau bâtiment, le choix s'est porté sur un système traditionnel, blocs et briques , traduisant les règles de l'art du système constructif belge. Dans le cadre de ce travail, il est essentiel de se rapprocher le plus possible de la réalité, ce qui implique, de garder une cohérence avec les habitudes constructives d'aujourd'hui et de relater les différences qui existent entre les principes de rénovation et de nouvelles constructions. En exemple, citons, la rehausse du bâtiment d'un étage supplémentaire dont la structure choisie dans le cas de la rénovation est principalement en bois pour des questions de stabilité tandis que, pour la construction neuve, la structure choisie sera dans le même mode constructif que les étages inférieurs c'est-à-dire en blocs et briques.

3.2.2.3.1. CALCUL DE DESCENTE DE CHARGE

Afin de déterminer l'épaisseur de bloc dont on a réellement besoin pour la structure porteuse du nouveau bâtiment, il est primordial de se référer à l'Eurocode 1. Ce dernier définit les principes généraux de calcul et de chargement des structures à construire.

➤ ACTIONS PERMANENTES « G »

Celles-ci prennent en compte le poids propre des éléments de construction composant le bâtiment. Afin de déterminer, quels sont les matériaux qu'il y a lieu de prendre en compte, j'utilise une coupe schématique dans laquelle se retrouvent les différentes parois qui doivent être traitées.

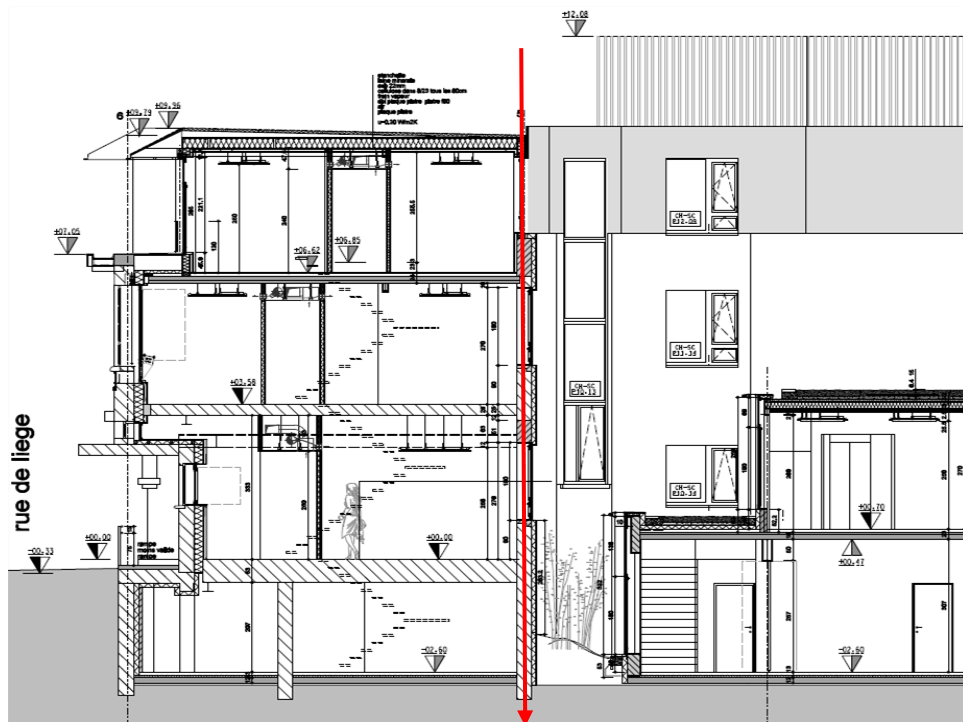
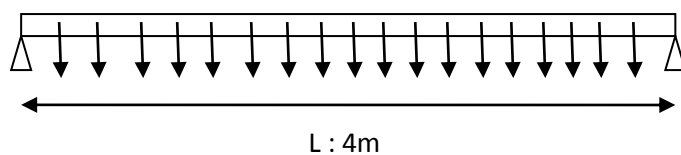


Figure 38 : Descente de charge

Mon plancher repose sur deux appuis séparés d'une distance de 4 m, mon premier appui est un mur de refend intérieur et le second est mon mur en façade. Ces derniers reprennent chacun une charge égale à $PL/2$, P représentant le poids propre de l'élément qui correspond à une charge uniformément répartie.



Il est dès lors important de préciser ce qui doit être pris en compte, à savoir le poids propre :

- de la toiture ;
- des trois planchers intermédiaires composant le bâtiment ;
- ainsi que le poids propre de la façade. Je peux donc résumer ceci dans le tableau suivant.

| | Épaisseur m | Masse volumique Kg/m ³ | Charge linéaire KN/m | Charge Ponctuelle KN |
|----------------|-------------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Toiture | | | | |
| Bitume armé | 0,004 | 1160 | 0,0928 | |

| | | | | |
|---------------------------------|--------|-------|--------|------|
| Laine minérale | 0,05 | 132,5 | 0,1325 | |
| Panneaux OSB | 0,022 | 640 | 0,2816 | |
| Panne | 0,23 | 600 | | 0,63 |
| Laine minérale | 0,23 | 132,5 | 0,6095 | |
| Frein vapeur | 0,012 | 1290 | 0,3096 | |
| Plaque de plâtre | 0,0105 | 925 | 0,1942 | |
| Air | | | | |
| Plaque de plâtre | 0,0105 | 925 | 0,1942 | |
| Planchers intermédiaires | | | | |
| Carrelage | 0,01 | 2000 | 0,400 | |
| Chape | 0,06 | 2100 | 2,52 | |
| Hourdis en béton | 0,25 | 1800 | 9 | |
| Air | | | | |
| Plaque de plâtre | 0,0105 | 925 | 0,1942 | |
| Façades | | | | |
| Brique | 0,09 | 900 | 8,5050 | |
| EPS | 0,13 | 52 | 0,7098 | |
| Bloc de béton | 0,19 | 1800 | 41,040 | |
| Plâtre | 0,013 | 1300 | 2,0280 | |

Tableau 6 : Actions permanentes

Dans le calcul, il y a lieu de vérifier étape par étape l'épaisseur des blocs composant la façade à chaque étage (en commençant du sommet du bâtiment et en descendant progressivement jusqu'au dernier niveau).

➤ ACTIONS VARIABLES

- Charges d'exploitations « Q »

L'Eurocode 1 [Comité Européen de normalisation. 2002] me donne les charges d'exploitations suivant les catégories d'usages qu'il y a lieu de prendre en compte ici.

| Catégorie | Usage spécifique | Exemples |
|--|--|---|
| A | Habitation, résidentiel | Pièces des bâtiments et maisons d'habitation ; chambres et salles des hôpitaux ; chambres d'hôtels et de foyers ; cuisines et sanitaires. |
| B | Bureaux | |
| C | Lieux de réunion (à l'exception des surfaces des catégories A, B et D ^a) | C1 : Espaces équipés de tables etc., par exemple : écoles, cafés, restaurants, salles de banquet, salles de lecture, salles de réception C2 : Espaces équipés de sièges fixes, par exemple : églises, théâtres ou cinémas, salles de conférence, amphithéâtres, salles de réunion, salles d'attente C3 : Espaces ne présentant pas d'obstacles à la circulation des personnes, par exemple : salles de musée, salles d'exposition etc. et accès des bâtiments publics et administratifs, hôtels, hôpitaux, gares C4 : Espaces permettant des activités physiques, par exemple : dancings, salles de gymnastique, scènes C5 : Espaces susceptibles d'accueillir des foules importantes, par exemple : bâtiments destinés à des événements publics tels que salles de concert, salles de sport y compris tribunes, terrasses et aires d'accès, quais de gare |
| D | Commerces | D1 : Commerces de détail courants D2 : Grands magasins |
| ^a On attire l'attention sur l'alinéa 6.3.1.1(2), notamment pour C4 et C5. Voir EN 1990 lorsque les effets dynamiques doivent être pris en considération. Pour la catégorie E, voir Tableau 6.3. | | |
| NOTE 1 Selon l'usage prévu, les surfaces devant être classées a priori C2, C3 ou C4 peuvent être classées C5 par décision du client et/ou d'une Annexe Nationale. | | |
| NOTE 2 L'Annexe Nationale peut définir des sous-catégories pour A, B, C1 à C5, D1 et D2. | | |
| NOTE 3 Voir 6.3.2 pour les aires de stockage et les locaux industriels. | | |

Tableau 7: Catégories d'usages [Comité Européen de normalisation. 2002]

Dans notre cas le bâtiment étant un immeuble de bureau, nous nous situons dans la catégorie B.

| Catégorie de la surface chargée | q_k [kN/m ²] | Q_k [kN] |
|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| Catégorie A | | |
| — Planchers | 1,5 à <u>2,0</u> | <u>2,0</u> à 3,0 |
| — Escaliers | <u>2,0</u> à 4,0 | <u>2,0</u> à 4,0 |
| — Balcons | <u>2,5</u> à 4,0 | <u>2,0</u> à 3,0 |
| Catégorie B | 2,0 à <u>3,0</u> | 1,5 à <u>4,5</u> |
| Catégorie C | | |
| — C1 | 2,0 à <u>3,0</u> | 3,0 à <u>4,0</u> |
| — C2 | 3,0 à <u>4,0</u> | 2,5 à 7,0 (<u>4,0</u>) |
| — C3 | 3,0 à <u>5,0</u> | <u>4,0</u> à 7,0 |
| — C4 | 4,5 à <u>5,0</u> | 3,5 à <u>7,0</u> |
| — C5 | <u>5,0</u> à 7,5 | 3,5 à <u>4,5</u> |
| Catégorie D | | |
| — D1 | <u>4,0</u> à 5,0 | 3,5 à 7,0 (<u>4,0</u>) |
| — D2 | 4,0 à <u>5,0</u> | 3,5 à <u>7,0</u> |

Tableau 8: Charges d'exploitation [Comité Européen de normalisation. 2002]

A ces valeurs, il y a lieu de rajouter la charge d'exploitation de la toiture, selon l'usage spécifique. De la même manière, l'Eurocode 1 nous met à disposition le tableau que voici ;

| Catégorie | Usage spécifique |
|-----------|---|
| H | Toitures inaccessibles sauf pour entretien et réparations courants |
| I | Toitures accessibles pour les usages des catégories A à D |
| K | Toitures accessibles pour des usages particuliers, hélisations, par exemple |

Tableau 9: Classification des toitures [Comité Européen de normalisation. 2002]

Nous nous trouvons donc, bien évidemment, dans la catégorie H. Les charges d'exploitation qu'il y a lieu de considérer sont donc fonction de la catégorie mais aussi de la pente du toit. Nous nous trouvons dans le cas où celle-ci est inférieure à 20°, nous prendrons donc, pour les charges réparties, q_k (KN/m²) et concentrées Q_k (KN) les valeurs respectives de 0,75 et 1,5.

- Charge de neige « S »

La charge de neige sur la toiture est obtenue assez facilement par la formule donnée dans l'eurocode 1 [Comité Européen de normalisation. 2005],

$$s = \mu_i * C_e * C_i * S_k$$

Avec,

μ_i le coefficient de forme de la charge de neige ;

S_k la valeur caractéristique de la charge de neige sur le sol [KN/m²] ;

C_e le coefficient d'exposition, valant en général 1 ;

C_i le coefficient thermique, valant en général 1.

En Belgique, la charge caractéristique de neige sur le sol est fonction de l'altitude. Dans notre cas, le bâtiment est situé à Forest - ce lieu est à une altitude de 30m [Portail : météo.2012]. Comme l'altitude est inférieure à 100m, on prendra comme pour S_k la valeur de 0,5.

La valeur de μ_i est quant à elle déduite du tableau ci-dessous ;

| α (angle du toit avec l'horizontale) | $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ | $30^\circ < \alpha < 60^\circ$ | $\alpha \geq 60^\circ$ |
|---|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------|
| μ_1 | 0,8 | $0,8(60 - \alpha)/30$ | 0,0 |
| μ_2 | $0,8 + 0,8 \alpha/30$ | 1,6 | - |

Tableau 10 : Coefficients de forme [Comité Européen de normalisation. 2005],

On obtient dès lors rapidement la charge de neige s qui vaut $0,4 \text{ KN/m}^2$

- Action du vent « W »

Afin de prendre en considération l'action du vent, je me suis référée à la partie de l'Eurocode 1 concernant l'action du vent sur les structures [Comité Européen de normalisation. 2005].

Il est important de traiter les actions du vent sur les constructions et éléments de constructions en tenant compte de la pression extérieure et intérieure. Ainsi la différence de ces deux pressions me permet de déterminer la valeur de l'action sur l'élément considéré.

Dés lors on calcule, la pression extérieure due au vent, w_e [KN/m^2] et la pression intérieure due au vent w_i [KN/m^2] de la manière suivante :

$$w_e = q_{ref} * C_e(z_e) * C_{pe}$$

et

$$w_i = q_{ref} * C_e(z_i) * C_{pi}$$

Avec q_{ref} qui représente la pression de référence du vent, elle s'obtient par la formule, $q_{ref} = \frac{\rho}{2} * v_{ref}^2$, où ρ représente la masse volumique de l'air et vaut $1,25 \text{ Kg/m}^3$ et v_{ref} représente la vitesse de référence du vent en m/s qui est obtenue en fonction de plusieurs paramètres comme :

- la direction du vent ;
- la saison ;
- l'altitude ;
- et la vitesse de référence Belge $v_{ref,0}$, cette dernière est prise égale à $26,2 \text{ m/s}$.

On en déduit ainsi la pression nette du vent w sur un élément, qui correspond à la différence entre les deux pressions s'exerçant de part et d'autre de la paroi,

$$w = w_e - w_i$$

Une simplification est réalisée par l'égalité suivante, $z_e = z_i$,

On obtient, alors, comme formule,

$$w = \frac{\rho}{2} * v_{ref,0}^2 * C_e(z) * (C_{pe} - C_{pi})$$

C_{pi} représente le coefficient de pression intérieur. Il est obtenu selon les caractéristiques principales de la façade balayée par le vent. Notre bâtiment étant mitoyen et encastré dans le cœur d'îlot, seule la façade avant sera soumise aux vents dominants. Dans ce cas, la pression intérieure devra être prise égale à une fraction de la pression extérieure. Pour notre bâtiment, C_{pi} est obtenu par la formule :

$$C_{pi} = 0,75 \cdot C_{pe}$$

C_{pe} représente, comme nous l'avons dit précédemment, le coefficient de pression extérieure. Il est obtenu d'après la norme en fonction des coefficients $C_{pe,1}$ et $C_{pe,10}$ lorsque la surface chargée est respectivement de $1m^2$ ou $10m^2$.

Dans notre cas, la surface étant supérieure à $10m^2$, on considère, $C_{pe} = C_{pe,10}$

La norme divise le bâtiment en plusieurs parties selon les caractéristiques de ce dernier. Ainsi, lorsque la hauteur du bâtiment est supérieure à sa largeur, comme dans le cas de mon bâtiment, on considère qu'il peut être divisé en deux éléments,

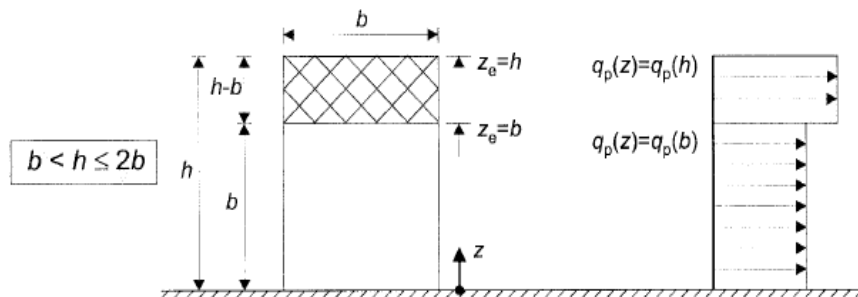


Figure 39 : Répartition du vent sur la paroi verticale [Comité Européen de normalisation. 2005].

Afin d'obtenir le coefficient de pression $C_{pe,10}$, on doit se référer aux schémas suivants afin de déterminer dans quel cas je me situe,

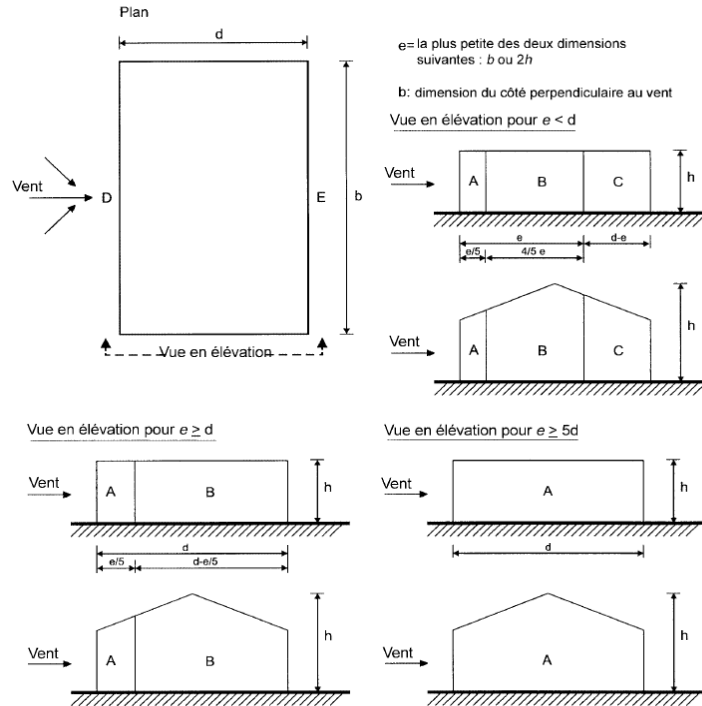


Figure 40: Zonage de la paroi verticale [Comité Européen de normalisation. 2005].

Etant dans le cas où $e \geq d$, je peux enfin déterminer $C_{pe,10}$,

| Zone | A | | B | | C | | D | | E | |
|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| h/d | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,1}$ |
| 5 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,7 | |
| 1 | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,8 | +1,0 | -0,5 | |
| $\leq 0,25$ | -1,2 | -1,4 | -0,8 | -1,1 | -0,5 | | +0,7 | +1,0 | -0,3 | |

Tableau 11: Valeurs des coefficients de pression extérieure pour les murs verticaux [Comité Européen de normalisation. 2005].

Il est donc égal à 0,8 ce qui signifie que c'est une dépression. Il nous reste maintenant à déterminer $C_e(z)$ qui est fonction de la catégorie de terrain dans laquelle je me situe. Pour ma part, elle correspond à la catégorie IV puisque nous sommes en zone urbaine et l'altitude du lieu, ainsi on trouve la valeur de $C_e(z)$ égale à 1,561.

On peut maintenant déduire directement $w = 0,134 \text{ KN/m}^2$

Il faut maintenant effectuer le même procédé en ce qui concerne la pression du vent qui s'applique sur la toiture. Il est essentiel de se référer à la norme qui concerne les toitures. Ainsi, on retrouve les schémas permettant de diviser la toiture en plusieurs morceaux.

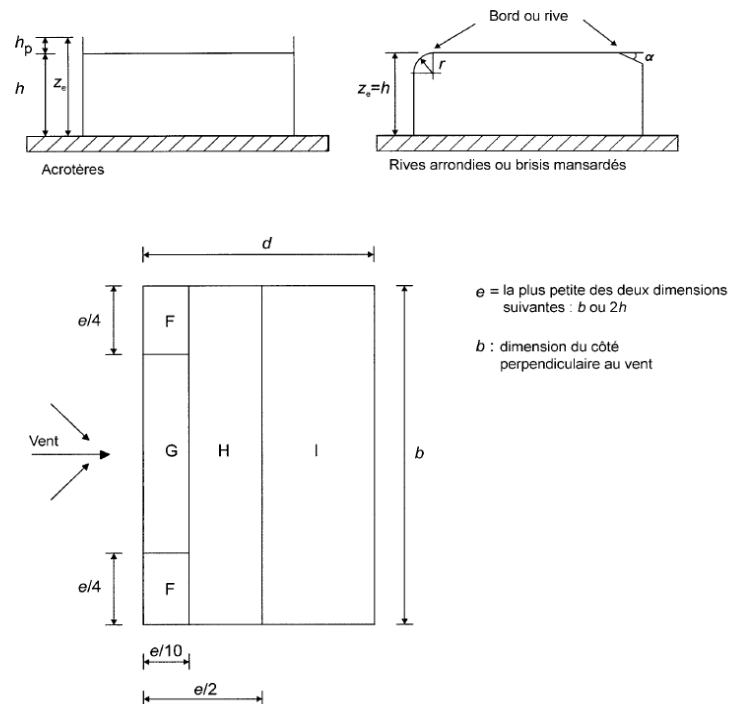


Figure 41: Zonage pour les toitures plates [Comité Européen de normalisation. 2005].

C_{pe} est donc pris égal à -1,0 tandis que pour C_{pi} les valeurs extrêmes suivantes peuvent être utilisées, $C_{pi} = 0,8$ et $C_{pi} = -0,5$

On calcule ainsi $w_1 = -1,205 \text{ KN/m}^2$

➤ COMBINAISONS D' ACTIONS

Dans cette partie il est important de distinguer les états limites ultimes des états limites de service. [Comité Européen de normalisation. 2002] En effet, pour une même combinaison d'action, les valeurs de calcul des actions sont déduites des valeurs caractéristiques qui ont été préalablement multipliées par des coefficients partiels de sécurité, γ , adaptés. Ces derniers dépendent en réalité de l'état limite considéré ainsi que du type d'action particulier. Ensuite, pour combiner chaque action, les variables sont multipliées par un facteur de combinaison, Ψ . Dans une même combinaison d'action il y aura lieu de faire attention à ne pas prendre en compte des actions qui ne peuvent se produire simultanément. Remarquons, que chaque action est classée selon trois critères :

- sa variation dans le temps telles que les actions permanentes (poids propre...), variables (charge d'exploitation, neige, vent) et accidentelles ;
- sa variation dans l'espace (fixe ou mobile) ;
- sa nature (statique, dynamique).

Il est important de souligner ici que, quel que soit l'état limite considéré, il ne pourra, en aucun cas, être dépassé.

- Etats limites ultimes ELU

Ces états limites sont associés à une défaillance structurelle telle que, par exemple, l'effondrement de la structure. Il concerne donc essentiellement la sécurité des personnes. Lorsque l'on considère un état limite de rupture ou de déformation excessive d'un élément, il y a lieu de vérifier, que la valeur de calcul des effets des actions E_d soit inférieure ou égale à la résistance de calcul correspondante,

$$E_d \leq R_d$$

Le calcul de E_d , est obtenu en combinant les actions qui se produisent simultanément, ainsi on obtient ;

$$\sum_{i \geq 1} \gamma_{Gi} * G_{ki} + \gamma_P * P_k + \gamma_{Q1} * Q_{k1} + \sum_{j > 1} \gamma_{Qj} * \psi_{0j} * Q_{kj}$$

La combinaison d'action décrite ci-dessus concerne les situations de projet durables ou transitoires. Lorsque l'action dominante n'est pas flagrante, il est essentiel que chaque action variable devienne à son tour l'action dominante.

Les coefficients γ et ψ sont obtenus à partir de tableaux présents dans l'Eurocode 1 décrivant la base de calcul des structures [Comité Européen de normalisation. 2002]

| Actions | | Situations | |
|--|-----------------|------------------------|--------------|
| | | Durable et transitoire | Accidentelle |
| Permanent : Défavorables favorables | γ_{Gsup} | 1,35 | 1,00 |
| | γ_{Ginf} | 1,00 | 1,00 |
| Variables défavorables | γ_{Gsup} | 1,5 | 1,00 |
| Accidentelles | γ_{Gsup} | | 1,00 |
| Valeur concernant les pays d'Europe dont l'altitude est inférieure à 1000m | | | |
| | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
| Charge d'exploitation | 0,7 | 0,5 | 0,3 |
| Charge due à la neige | 0,5 | 0,2 | 0 |
| Charge due au vent | 0,6 | 0,2 | 0 |
| Pour la Belgique ces valeurs sont revues à la baisse | | | |
| | ψ_{0i} | ψ_{1i} | ψ_{2i} |
| Charge d'exploitation | 0 | 0 | 0 |

| | | | |
|-----------------------|---------|-----|---|
| Charge due à la neige | 0.3/0.6 | 0 | 0 |
| Charge due au vent | 0.6/0.3 | 0.3 | 0 |

Tableau 12 : Valeurs des coefficients partiels de sécurité ainsi que des facteurs de combinaisons
[Comité Européen de normalisation. 2002]

Ainsi, on obtient assez logiquement les combinaisons qu'il y a lieu de considérer en état limite ultime [KN/m²]

$$1.35 * G + 1.5 * Q + 1.5 * [0.3 * S + 0.6 * W]$$

$$1.35 * G + 1.5 * Q + 1.5 * [0.6 * S + 0.3 * W]$$

$$1.35 * G + 1.5 * S + 1.5 * [0.3 * W]$$

$$1.35 * G + 1.5 * W + 1.5 * [0.3 * S]$$

$$1 * G + 1.5 * W$$

La combinaison donnant la valeur la plus défavorable peut-être ensuite comparée à la résistance de calcul du bloc de béton de 19. Cette dernière étant obtenue en divisant la résistance obtenue par un coefficient γ_m . Ce dernier représente le coefficient partiel pour la propriété du matériau. Dès lors, on se rend compte que l'utilisation de blocs de 19 est suffisante afin d'assurer la stabilité du bâtiment.

- Etats limites de service ELS

L'état limite de service concerne les aspects liés au confort des occupants ainsi que l'aspect esthétique du bâtiment (présence de fissure, déformation d'éléments par fatigue,...)

En état limite de service, il y a lieu de reprendre la combinaison d'action générale ci-dessus en appliquant la valeur de 1 pour les différents coefficients γ utilisés, ainsi on obtient,

$$\sum_{i \geq 1} G_{ki} + P_k + Q_{k1} + \sum_{j > 1} \psi_{0j} * Q_{kj}$$

$$G + Q + 0.3 * S + 0.6 * W$$

$$G + Q + 0.6 * S + 0.3 * W$$

$$G + S + 0.3 * W$$

$$G + W + 0.3 * S$$

$$G + W$$

3.2.2.3.2. CALCUL DE LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT, MÉTHODE : PEB

L'objectif de ce travail étant de comparer la rénovation et la démolition/reconstruction des bureaux du CPAS de Forest, il était nécessaire que le bâtiment obtenu après rénovation ou après reconstruction totale présente les mêmes caractéristiques au niveau de la performance énergétique, quelle que soit la solution choisie. Etant donné que le bâtiment étudié a fait l'objet d'une rénovation du 17 avril 2009 au 07 avril 2011, j'ai pu obtenir, par l'intermédiaire du bureau A2M, concepteur du projet, le niveau d'isolation thermique obtenu pour cette rénovation ainsi que le besoin net en chauffage. Dès lors, pour la rénovation, on obtient des valeurs correspondantes aux bâtiments basse énergie.

Niveau K : 22

Besoin net en chauffage : 20 kWh/m².an

Il est évident que le niveau K à lui seul, ne permet pas de définir la performance énergétique d'un bâtiment, d'autres paramètres entrent en jeu comme le niveau E_w, E_{spéc}, le taux de ventilation ainsi que la surchauffe. Pour connaître ces paramètres il est essentiel d'avoir une idée précise des différents systèmes utilisés dans le bâtiment, ceux-ci sont identiques à ceux utilisés pour la rénovation (cfr....) Ce niveau K me permet tout de même d'avoir des caractéristiques similaires en ce qui concerne les différentes parois du bâtiment.

Afin de s'appuyer sur les mêmes performances, en ce qui concerne les différentes parois, pour le bâtiment neuf, j'utilise la version simplifiée du logiciel PEB (**version 2** - 29 août 2008). En effet, une version beaucoup plus détaillée peut être téléchargée sur le portail de la Région wallonne, celui-ci prend en compte les nouvelles normes appliquées depuis 2011 selon le type de bâtiment, le type de travaux ainsi que la région dans laquelle le projet est situé. Dans le cadre de ce travail, il n'est pas nécessairement intéressant d'utiliser ce logiciel en premier lieu parce que la date de chantier est antérieure à celle proposée par le logiciel et donc les exigences PEB sont quelque peu différentes. Ensuite, par le fait que le simple but de ce travail est d'obtenir des performances similaires pour les différentes parois composant le bâtiment neuf par rapport à celui rénové. En ce qui concerne l'étanchéité à l'air, on sait qu'il sera beaucoup plus facile d'obtenir une meilleure performance pour le bâtiment neuf que pour celui rénové, il existera donc, pour cette caractéristique, une différence entre les deux solutions envisagées.

Afin d'atteindre des exigences similaires, on retrouve les différentes parois qu'il y a lieu d'utiliser pour le bâtiment neuf dans la suite de ce travail. Voici une synthèse des résultats obtenus en considérant les compositions de parois ci-après,

| Niveau K | Niveau E _w | Risque de surchauffe | Emission de CO ₂ [t/an] | Coût annuel [€/an] | Consommation kWh/m ² an |
|-----------|-----------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------------------------------|
| 22 | 67 | 1 12% : risque léger à modéré | 21,76 | 4.709 | 91 |
| | | 2 Pas de 2 ^e secteur | | | |

Tableau 13: Récapitulatif des valeurs obtenues pour la performance énergétique du bâtiment neuf

On voit dès lors que les besoins nets en chauffage s'élèvent à 20.6 kWh/m².an

3.2.2.3.3. COMPOSITION DES PAROIS ET EXIGENCES DE LA PEB POUR LE BÂTIMENT NEUF

Détail de calcul Cfr. Annexe 1.

➤ Fenêtre

| | | | |
|---|--|--|------|
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 1.26 |
|---|--|--|------|

➤ Façade

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|-------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0.04 |
| Extérieur | Brique | 90 | 0.33 |
| | Coulisse ventilée | 10 | 0.13 |
| | EPS | 200 | 5.88 |
| | Bloc de béton | 190 | 0.09 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0.02 |
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.1510 |

➤ Façade enterrée

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|--------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | |
| Extérieur | Bloc béton | 290 | 0.14 |
| | EPS | 140 | 4.12 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0.02 |
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi | | | 0.2267 |

| | | | |
|-------|--|--|--|
| W/m²K | | | |
|-------|--|--|--|

➤ Façade mitoyenne

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|--|------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0.13 |
| Intérieur | Brique pleine | 360 | 0.38 |
| | Colonne en béton | 150 | 0.07 |
| | EPS | 125 | 3.68 |
| | Bloc de béton | 90 | 0.04 |
| Intérieur | Plâtre | 13 | 0.02 |
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2247 |

➤ Toiture annexe

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|--|----------------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | 0.04 |
| Extérieur | Végétation extensive | | 1.15 |
| | Substrat fertile | 150 | 1.15 |
| | Membrane filtrante | 1.2 | |
| | Couche drainant PS | 62 | 0.09 |
| | Etanchéité | 4 | |
| | Laine minérale | 80 | 1.88 |
| | Béton de pente | 70 | 0.03 |
| | Prédalle | 110 | 0.05 |
| | Prédalle | 60 | 0.03 |
| Intérieur | | | |
| Ri | | | 0.10 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2212 |

➤ Toiture principale

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance |
|--|--------------|--------------|--------------|
|--|--------------|--------------|--------------|

| | | | thermique m²K/W |
|---|-------------------|------|-----------------|
| Re | | | 0.04 |
| Extérieur | Étanchéité | 4 | 0.02 |
| | Laine minérale | 50 | 1.18 |
| | Panneaux OSB | 22 | 0.17 |
| | Panne | 230 | 0.12 |
| | Cellulose | 230 | 3.52 |
| | Frein vapeur | 1.2 | |
| | Plaque de plâtre | 25 | 0.12 |
| | Coulisse ventilée | 50 | 0.63 |
| | Plaque de plâtre | 10.5 | 0.03 |
| Intérieur | | | |
| Ri | | | 0.10 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.1686 |

➤ Dalle de sol

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|----------------|--------------|------------------------------|
| Re | | | |
| Extérieur | Empierrement | 30 | |
| | Sable | 50 | |
| | Dalle de béton | 150 | 0.09 |
| | PUR | 100 | 4.08 |
| | Chape | 70 | 0.06 |
| Intérieur | Carrelage | 10 | 0.01 |
| Ri | | | 0.17 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2267 |

➤ Planchers intermédiaires R+2

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|------------------|-------------------|--------------|------------------------------|
| Ri | | | 0.13 |
| Intérieur | Carrelage | 10 | 0.01 |
| | Chape | 60 | 0.05 |
| | Dalle de béton | 170 | 0.08 |
| | Coulisse ventilée | 287 | 3.59 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 10.5 | 0.05 |

| | | | |
|---|--|--|--------|
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2475 |

➤ Planchers intermédiaires R+1

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Ri | | | 0.13 |
| Intérieur | Carrelage | 10 | 0.01 |
| | Chape | 60 | 0.05 |
| | Dalle de béton | 250 | 0.12 |
| | Coulisse ventilée | 287 | 3.59 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 10.5 | 0.05 |
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2451 |

➤ Planchers intermédiaires R

| | Compositions | Epaisseur mm | R,Résistance thermique m²K/W |
|---|---------------------|---------------------|-------------------------------------|
| Ri | | | 0.13 |
| Intérieur | Carrelage | 10 | 0.01 |
| | Chape | 60 | 0.05 |
| | Dalle de béton | 300 | 0.14 |
| | Coulisse ventilée | 287 | 3.59 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 10.5 | 0.05 |
| Ri | | | 0.13 |
| | | | |
| U, Coefficient thermique de la paroi W/m²K | | | 0.2439 |

➤ Cloisons intérieures

| | Compositions | Epaisseur mm |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Intérieur | Plâtre | 13 |

| | | |
|------------------|---------------|--------------------|
| | Bloc de béton | 290/270/190/140/90 |
| Intérieur | Plâtre | 13 |

| | Compositions | Epaisseur mm |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 |
| | Laine de roche | 61.5 |
| Intérieur | Plaque de plâtre | 13 |

4. COMPLEMENTS APPORTES A L'OUTIL ACV

Comme je l'ai déjà abordé ci-dessus, j'ai choisi d'utiliser l'outil Excel « LCA basi tool » qui m'a permis de démarrer mon analyse sur des bases concrètes. Ce dernier prend déjà en compte les deux indicateurs énoncés précédemment, c'est-à-dire le GWP et le CED lors de la phase de production des matériaux ainsi, que la phase d'utilisation du bâtiment. L'article de Rossi et al (2012 (a)) décrit cet outil de manière détaillée.

Dans le cadre de ce travail et pour permettre une analyse en cycle de vie complète soit « du berceau à la tombe » ou, plus précisément, dans notre étude « de la tombe au berceau » puisque dans notre cas on vise la revalorisation, la réhabilitation du bâtiment existant. Il a été essentiel de développer plus précisément le logiciel mis à ma disposition par un complément de feuilles de calcul Excel afin de prendre en compte d'autres paramètres indispensables à cette fin. Dans ce but et après avoir effectué de nombreuses recherches, j'ai pu regrouper différentes informations, qu'elles soient tirées de bases de données (EcoInvent, CRTI, BEES, INIES,...), de documentations (scientifiques, techniques, environnementales, réglementaires,...) ou de différents interviews réalisés auprès de corps de métiers distincts ou non (architectes, gestionnaires de démolition, ingénieurs,...).

Ainsi, celles-ci m'ont permis, de compléter la feuille Excel « CO2 émissions Datasheet » résumant les différents impacts liés à la fabrication des matériaux. Ceux-ci proviennent, bien évidemment, de bases de données vérifiées (voir FDES).

Ces différentes informations m'ont permis, principalement, d'élaborer de nouvelles formules introduites dans de nouvelles feuilles Excel et de considérer ainsi la phase de démolition comprenant différentes étapes telles que :

- le transport des ouvriers permettant ainsi le déroulement du chantier de démolition qu'il soit partiel ou total ;
- la mise en service de certaines machines rencontrées dans le panel important des engins de démolition ;
- le transport des différents déchets produits jusqu'aux différents centres adéquats (centres de recyclage, centres d'enfouissement technique,...) ;
- le recyclage des déchets.

Dans cette même démarche, des formules seront introduites pour permettre de tenir compte d'une phase supplémentaire, celle de la rénovation ou de la reconstruction d'un nouveau bâtiment. On

retrouvera également dans cette phase, le transport des ouvriers pour le déroulement du nouveau chantier, le transport des nouveaux matériaux de l'usine de fabrication vers le chantier en passant, par le dépôt, la mise en service de machines nécessaires au déroulement du chantier et, enfin en dernier lieu, le transport de déchets générés sur le chantier (ceux-ci comprennent les emballages, les palettes,... Ils seront bien évidemment en quantité moindre par rapport aux déchets générés par le chantier de démolition.)

Ces différents résultats se retrouvent donc dans les feuilles dénommées :

- Démolition (Cfr. annexe 5) ;
- Recyclage (Cfr. annexe 6) ;
- Composition des parois et valeur de U (déjà existante initialement mais complétée) ;
- Chantier rénovation (Cfr. annexe 9) ;
- Moyen d'exécution et évacuation des déchets (Cfr. annexe 7) ;
- Moyen d'exécution et transport de nouveaux matériaux (Cfr. annexe 8) ;

Lesquelles seront détaillées dans la suite de ce travail.

Ces feuilles créées au départ pour mon cas d'école précisément, une réflexion supplémentaire m'a permis de rendre celles-ci accessibles à tous et à toutes souhaitant entreprendre une étude comparative entre la rénovation et la démolition quel que soit le cas d'étude choisi.

Cela permet donc de rendre le programme en quelque sorte universel, le but de ce TFE n'étant pas seulement d'apporter une réponse quant au choix de rénover ou de démolir (comme pour mon cas d'étude) mais également d'essayer de faire prendre conscience aux différents acteurs du bâtiment, de l'enjeu important d'une ACV dans le domaine environnemental, en donnant la possibilité de réaliser cette dernière, de manière simple et autant que possible pour des bâtiments plus ou moins comparables à celui que je présente. En effet, si la démolition porte sur un immeuble de 100 étages, le procédé de démolition pourra faire appel à d'autres méthodes : explosifs, etc...

4.1. ELABORATION DE NOUVELLES FEUILLES EXCEL

A ce stade, et avant de passer en revue les différentes feuilles de travail que j'ai réalisées, il est intéressant de passer par une explication de mon processus de réflexion. De manière à être la plus compréhensible possible, vous trouverez ci-dessous un diagramme de travail, résumant les conditions limites, quel que soit le scénario choisi : la rénovation ou la démolition/reconstruction.

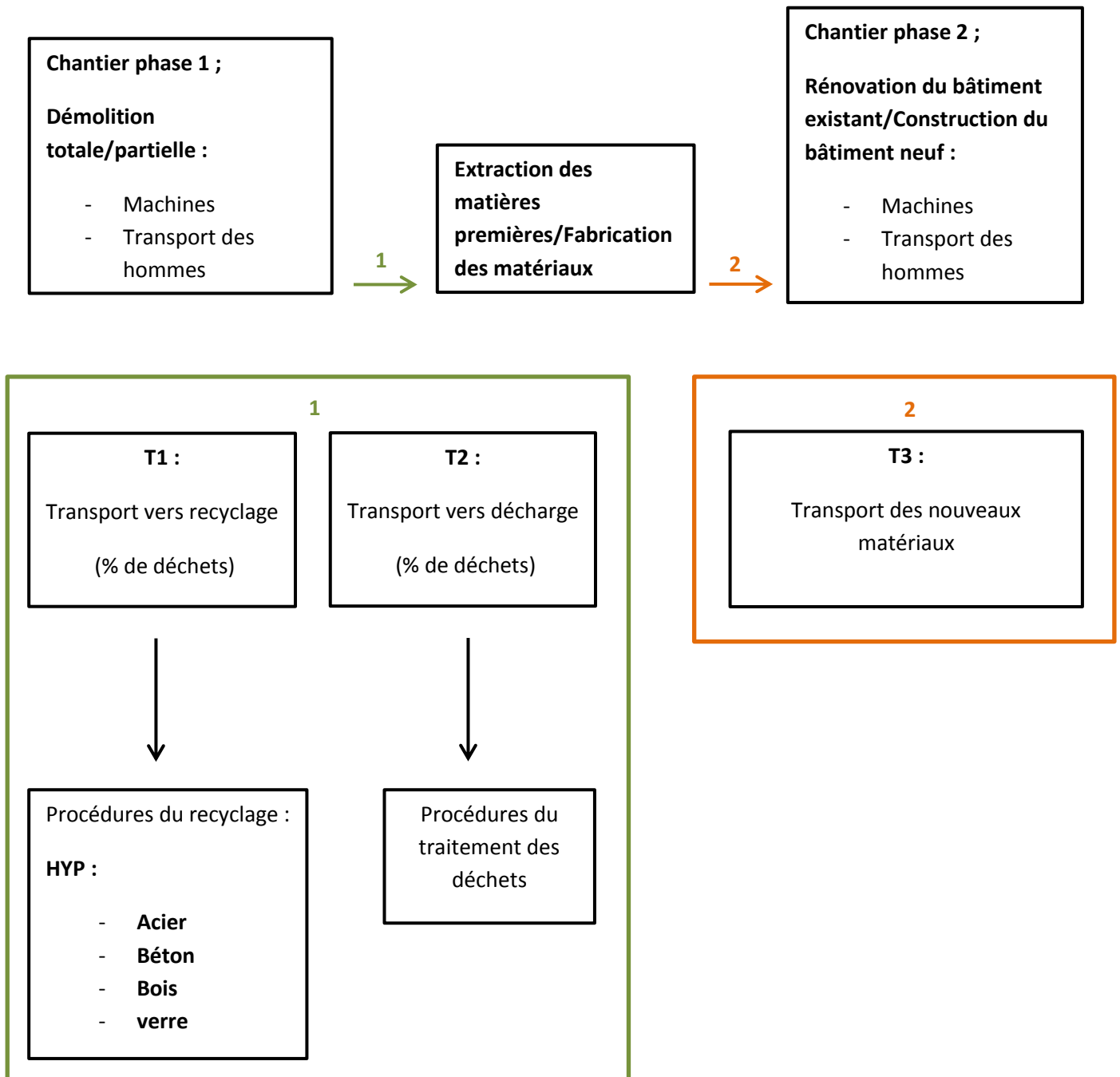
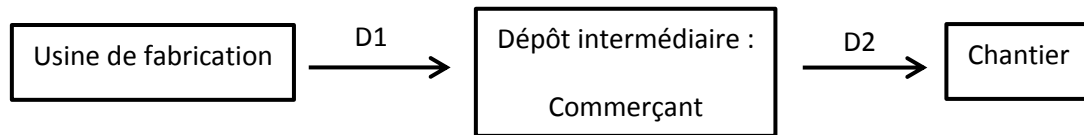


Figure 42 : diagramme de travail explicatif sur les conditions limites de l'étude

Remarquons que pour le transport des nouveaux matériaux T3, celui-ci peut être encore résumé par un graphique, puisque dans mon analyse je ne m'arrête pas au transport des matériaux propre au chantier mais je prends l'éventualité qu'un tonnage plus important de nouveaux matériaux sera transporté afin d'alimenter un dépôt intermédiaire. On observe ainsi,



Avec D1 et D2 qui représentent respectivement la distance séparant l'usine de fabrication au dépôt intermédiaire et la distance séparant le dépôt au chantier. $D1 \geq D2$.

Ce schéma récapitulatif permet ainsi de résumer les compléments apportés à l'outil de base, mais permet aussi de prédire quelles seront les analyses finales possibles. En effet au total, j'aurai à ma disposition 10 graphiques en fonction du scénario choisi qui reprendront,

- 1) le fonctionnement des diverses machines pendant le chantier phase 1 (démolition) ;
- 2) le transport des hommes nécessaire au déroulement du chantier phase 1 (démolition) ;
- 3) le transport des déchets vers les centres de recyclages respectifs T1 ;
- 4) le transport des déchets vers les centres de décharges T2 ;
- 5) la procédure du traitement des déchets ;
- 6) la procédure du recyclage en fonction des quatre matériaux concernés (acier, béton, bois, verre) ;
- 7) l'extraction des matières première/Fabrication des nouveaux matériaux ;
- 8) le transport des nouveaux matériaux de l'usine de fabrication vers le chantier ;
- 9) le fonctionnement des diverses machines pendant le chantier phase 2 (rénovation/construction) ;
- 10) le transport des hommes nécessaire au déroulement du chantier phase 2 (rénovation/construction) ;

4.1.1. PHASE DE DEMOLITION

4.1.1.1. DEMOLITION

Quelle est la composition de notre ouvrage ?

Cette première feuille permet de définir les caractéristiques du bâtiment existant. On y retrouve un premier tableau permettant de définir les propriétés générales du bâtiment et son environnement avoisinant.

| Caractéristique: Bâtiment existant | | | |
|------------------------------------|--|--------------------|-----------------|
| | nombre de niveaux | 2 | |
| | nombre de niveaux enterrer (cave) | 1 | |
| | hauteur totale au dessus de sol (m) | 7,703 | |
| | voisinage | mitoyenneté 2côtés | |
| | environnement | mitoyenneté 1côté | |
| | superficie au sol | mitoyenneté 2côtés | |
| | superficie chauffé(m²) | mitoyenneté 3côtés | |
| | | pas de mitoyenneté | |
| | localisation | Forest | |
| nombre d'hommes | rendement | 12,6 | m²/hommes/jours |
| | démolition | 2 | hommes |
| | nombre de jour de chantier de démolition | 30 | jours |

Figure 43 : Fichier Excel : Caractéristique du bâtiment existant

Cet encodage est assez important car il permet de résumer les paramètres qui vont conditionner le chantier de démolition. La superficie au sol et le nombre de niveaux permettent, par exemple, à l'entrepreneur de démolition d'estimer la durée du chantier et aussi déterminer les différents engins nécessaires qui seront en partie définis selon la localisation du bâtiment.

Un élément sera pris en compte concernant la contiguïté du bâtiment. En effet, selon les conditions de mitoyenneté, il pourrait être nécessaire de prendre quelques précautions supplémentaires comme, par exemple, assurer les reprises en sous œuvre,... Bien évidemment cette caractéristique n'intervient pas dans l'ensemble des calculs mais, précise le procédé de démolition.

Deux derniers points importants concernent l'environnement et la localisation du chantier permettant de déterminer le transport adéquat ainsi que les distances nécessaires qui devront être parcourues pour les divers transits de déchets ou de nouveaux matériaux.

Combien de temps est-il nécessaire pour la démolition des éléments détaillés ?

Les informations obtenues sur la composition du bâtiment découlent d'un entretien avec Monsieur Gilles Durigneux, Directeur général de l'entreprise de démolition Hublet située dans le zoning de Floreffe.

J'ai pu ainsi déterminer approximativement la durée du chantier sur base d'une démolition totale des bureaux de Forest.

Cette estimation a pu être évaluée à 30 jours ouvrables de travaux pour deux ouvriers en permanence sur le site. Le rendement du chantier est donc très vite calculé en fonction de la surface à démolir, , du nombre de jours de chantier, J, et enfin du nombre d'hommes intervenant sur le chantier, N.

$$\eta = \frac{\frac{Atot}{30}}{2}$$

Connaissant ainsi le rendement nécessaire à la démolition du bâtiment, cela me permet d'estimer la durée du chantier quel que soit le bâtiment (en restant, bien évidemment, dans les mêmes méthodes de démolition que le cas d'étude considéré).

Ainsi, le nombre de jours utiles au chantier de démolition se calcule de la manière suivante,

$$J = \frac{\frac{Atot}{N}}{\eta}$$

A quel ouvrage s'applique notre activité ?

Le second tableau permet, quant à lui, de déterminer le type de parois à démolir.

Il précise si telle ou telle paroi doit ou, ne doit pas, être démolie. Et dans l'affirmative, savoir si la démolition de la paroi concernée doit être partielle ou totale.

| Types de parois à démolir | | | |
|---------------------------|-----|-----------|--------|
| HORIZONTALES | | | |
| fondations | oui | | totale |
| toiture | oui | | totale |
| dalle de sol | oui | | totale |
| plancher RDC | oui | | totale |
| plancher R+1 | oui | partielle | |
| plancher R+2 | non | totale | |
| poutre | oui | | totale |
| VERTICALES | | | |
| façades | oui | | totale |
| colonnes | oui | | totale |
| mur de refend | oui | | totale |
| cloisons | oui | | totale |
| portes | oui | | totale |
| fenêtres | oui | | totale |
| escaliers | oui | | totale |

Figure 44 : Fichier Excel : Type de paroi à démolir

En fonction des résultats obtenus précédemment, la composition de chaque type de paroi à démolir peut maintenant être déterminée.

Toujours sur la même feuille il est possible de déterminer la composition des différentes parois. Prenons par exemple une paroi horizontale correspondant au plancher du rez-de-chaussée, la première colonne du tableau nous précise s'il existe pour un même type de parois plusieurs compositions différentes.

Pour le bâtiment étudié, dont le plancher du rez-de-chaussée a une surface totale de 277,5m², on remarque, en effet, que le revêtement de la dalle de béton principale est composé de trois manières différentes. Ces trois types de composition du plancher sont définis dans la deuxième colonne.

| Plancher RDC | | | | | | |
|--------------|---------------------------|--------------|-------------------|-----------|---------------|-----------|
| A | fraction of type A | 100% | total area | 112,5 | Density kg/m³ | weight Kg |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | volume m³ | | |
| | Timber (coniferous) | 10 | 100% | 1,125 | 600 | 675 |
| | Rock wool (insulation) | 290 | 100% | 32,625 | 2430 | 79278,75 |
| | Slab (cement mortar) | | | | | |
| | Slab on grade (anhydride) | | | | | |
| | Standard concrete | | | | | |
| B | fraction of type B | 100% | total area | 112,5 | Density kg/m³ | weight Kg |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | volume m³ | | |
| | Timber (coniferous) | 15 | 100% | 1,6875 | 2000 | 3375 |
| | Timber (leafy) | 55 | 100% | 6,1875 | 2000 | 12375 |
| | PUR | 290 | 100% | 32,625 | 2430 | 79278,75 |
| | Reinforced concrete | | | | | |
| C | fraction of type C | 100% | total area | 52,5 | Density kg/m³ | weight Kg |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | volume m³ | | |
| | ceramic tile | 10 | 100% | 0,525 | 2000 | 1050 |
| | Slab (cement mortar) | 40 | 100% | 2,1 | 2000 | 4200 |
| | Reinforced concrete | 250 | 100% | 13,125 | 2430 | 31893,75 |

Figure 45 : Fichier Excel : Choix de composition de la paroi existante

Le choix des matériaux utilisés est réalisé à l'aide d'une liste déroulante, établie dans la cellule correspondante. Celle-ci est, en fait reliée à la feuille « base de donnée, émission CO2 » qui spécifie les caractéristiques des différents matériaux obtenus à partir de bases de données certifiées dont on a déjà parlé précédemment (CRTI, BEES, INIES, ECOINVENT,...).

Ceci permet également d'obtenir directement la masse volumique du matériau considéré. Le poids total du matériau mis en œuvre (weight), P, est ainsi obtenu de suite, en dernière colonne, reliant la masse volumique (density), ρ , au volume de matériau, V.

$$P = V * \rho$$

$$V = X * A * e * Y$$

Avec,

- X représentant la fraction de la paroi de type A (fraction of type A) elle est exprimée en % ;
- A, l'aire totale de la surface de la paroi considérée (total area) en m² ;
- E, l'épaisseur du matériau considéré (thickness of material) exprimée en mm ;
- Y, la fraction du matériau composant la paroi (fraction of material Layer) en %.

Le poids de matériaux ainsi calculé permettra (comme nous le verrons par la suite) d'estimer la charge générale des matériaux, devenue après démolition des déchets. Cette charge comprendra donc le transport des déchets vers les centres de recyclages ou décharges, le fonctionnement des engins pendant la phase 1 (démolition) et le procédé du traitement des déchets.

Suivant le cas d'une démolition totale ou partielle, les compositions seront couplées à un certain pourcentage.

Dans le cas de la démolition totale, on retrouvera donc :

- 100% de type A correspondant à une surface au sol de 112,5m² ;
- 100% de type B correspondant aussi à une surface au sol de 112,5m² ;
- et enfin 100% de type C correspondant pour sa part à 52,5m² de surface au sol.

| Plancher RDC | | | | | | |
|--------------|----------------------|--------------|-------------------|------------|-----------------------|---------------------------|
| A | fraction of type A | | 100% | total area | 112.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | Timber (coniferous) | 10 | 100% | | 1.125 | 600 |
| | Reinforced concrete | 290 | 100% | | 32.625 | 2430 |
| B | fraction of type B | | 100% | total area | 112.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | Slab (cement mortar) | 15 | 100% | | 1.6875 | 2000 |
| | Reinforced concrete | 290 | 100% | | 32.625 | 2430 |
| C | fraction of type C | | 100% | total area | 52.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | ceramic tile | 10 | 100% | | 0.525 | 2000 |
| | Reinforced concrete | 250 | 100% | | 13.125 | 2430 |

Figure 46 : Fichier Excel : Pourcentage de paroi à démolir(1)

Il est, en outre, aussi possible de dire que les types de compositions A et B correspondent à 40,54% de la superficie totale du rez-de-chaussée et que le type C correspond, lui, à 18,92% de la surface totale.

| Plancher RDC | | | | | | |
|--------------|----------------------|--------------|-------------------|------------|-----------------------|---------------------------|
| A | fraction of type A | | 41% | total area | 277.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | Timber (coniferous) | 10 | 100% | | 1.125 | 600 |
| | Reinforced concrete | 290 | 100% | | 32.625 | 2430 |
| B | fraction of type B | | 41% | total area | 277.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | Slab (cement mortar) | 15 | 100% | | 1.6875 | 2000 |
| | Reinforced concrete | 290 | 100% | | 32.625 | 2430 |
| C | fraction of type C | | 19% | total area | 277.5 | |
| | Material | thickness mm | fraction of layer | | volume m ³ | Density kg/m ³ |
| | ceramic tile | 10 | 100% | | 0.525 | 2000 |
| | Reinforced concrete | 250 | 100% | | 13.125 | 2430 |

Figure 47 : Fichier Excel : Pourcentage de paroi à démolir(2)

Par contre lorsque la démolition est partielle, il y a lieu de changer la fraction correspondant aux types de couches, plusieurs combinaisons sont alors envisageables.

Il est possible comme dans mon cas d'étude, d'avoir une démolition ponctuelle de la paroi horizontale (plancher RDC) de manière à permettre, par exemple, l'ouverture d'une trémie dans le plancher induisant alors, la suppression de la dalle de béton et du revêtement de plancher sur une partie correspondant à seulement 6% de la surface totale du plancher en rez-de-chaussée.

Souvent d'ailleurs, en rénovation, ce n'est que le revêtement qui est démolit alors que la dalle de béton est, elle, conservée.

Dans ce cas, on peut jouer sur plusieurs coefficients pour les diverses couches d'un même type de paroi.

| Plancher RDC | | | | | | |
|--------------|----------------------|--------------|------|-------------------|--|----------|
| A | fraction of type A | | 100% | total area | | 112,5 |
| | Material | thickness mm | | fraction of layer | | |
| | Timber (coniferous) | 10 | | volume m³ | | 0,0675 |
| | Reinforced concrete | 290 | | Density kg/m³ | | 2430 |
| B | fraction of type B | | 100% | total area | | 112,5 |
| | Material | thickness mm | | fraction of layer | | |
| | Slab (cement mortar) | 15 | | volume m³ | | 0,219375 |
| | Reinforced concrete | 290 | | Density kg/m³ | | 2430 |
| C | fraction of type C | | 100% | total area | | 52,5 |
| | Material | thickness mm | | fraction of layer | | |
| | ceramic tile | 10 | | volume m³ | | 0,525 |
| | Reinforced concrete | 250 | | Density kg/m³ | | 2430 |
| | | | | Weight Kg | | |
| | | | | 1050 | | |
| | | | | 4200 | | |
| | | | | 31893,75 | | |

Figure 48 : Fichier Excel : Pourcentage de matériaux, composant une paroi type, devant être démolir

Lorsque chaque paroi est ainsi décrite de façon détaillée, il est utile de calculer chaque surface afin d'avoir, cette fois, une idée de la surface totale, A_{totr} de parois à démolir. Celle-ci s'obtient, par l'équation suivante,

$$A_{tot} = \sum_i (A)_i * (Y)_i$$

Avec, l'indice i relatif au matériau considéré ;

- Y, la fraction du matériau composant la paroi (fraction of material Layer) en % ;
- A, l'aire totale de la surface de la paroi considérée (total area) en m².

Quels sont les moyens d'exécution ?

Le dernier tableau correspond, lui, au choix de la main d'œuvre nécessaire à la bonne exécution d'un chantier de démolition.

Pour le choix de la main d'œuvre, on retrouve donc :

- le nombre d'hommes à attacher aux différentes tâches qui devront être réalisées ;
- le nombre d'heures prestées par jour ;
- le nombre de jours nécessaires à l'exécution de la démolition
- le nombre de véhicules nécessaires au transport des ouvriers. On émet, ici, l'hypothèse qu'un seul véhicule est mis à disposition par équipe de deux ou trois ouvriers ;
- le type de véhicules (consommation L/Km, carburant utilisé (essence/diesel)).

| | Distance parcourue Km | Consommation L/Km | Kg eq. CO2/Km | Carburant | | | | | |
|--------------------|--------------------------|----------------------|------------------|--------------|-----------------------|----------|--------------|-------------------|----------|
| | | | | Essence | | | Diesel | | |
| | | | | PCI MJ/Kg | Kg/ m ³ | Kg/ L | PCI MJ/Kg | Kg/m ³ | Kg/ L |
| Camionnette | 45 | 0.1 | 0.2 | 43.8 | 750 | 0.75 | 42.5 | 850 | 0.85 |
| voiture | 30 | 0.07 | 0.2 | | | | | | |

Figure 49 : Fichier Excel : Données techniques provenant du fabricant selon le véhicule choisi
[Portail : Opel. 2011]

- le nombre de Km effectués par les ouvriers pour se rendre au lieu de travail.

Il est ensuite assez facile d'estimer la demande en énergie nécessaire ainsi que les émissions de CO2 émises par le seul fait du transport des ouvriers sur chantier.

$$\text{émission totale de CO2 (Kg éq. CO2)} = \sum_i D_i * E_i * J_i$$

$$\text{Demande totale en énergie (MJ)} = \sum_i D_i * \frac{\rho_i}{1000} * C_i * (PCI)_i * J_i$$

Avec, l'indice i relatif au véhicule considéré,

- D, la distance parcourue en Km;
- E, le taux d'émission de CO2 par Km en Kg éq. CO2/Km ;
- J, le nombre de jour pendant lequel les hommes devront se rendre au chantier ;
- ρ , la masse volumique du carburant utilisé en Kg/m³ ;
- C, la consommation du véhicule en L/Km ;
- PCI, le pouvoir calorifique du carburant utilisé en MJ/Kg.

Sur cette même feuille sont répartis en fonction des poids des différents matériaux, les taux d'émissions de CO2 ainsi que de demandes en énergie pour la phase de transport des déchets vers leurs centres de recyclage ou de décharges éventuels. En fonction du matériau considéré, il est possible de lui attribuer un certain pourcentage en considérant par exemple que 10% du poids de ce matériau part en décharge et que les 90% restant sont amenés au centre de recyclage. Ces taux d'impacts sont calculés selon la base de données « EcoInvent ».

Les valeurs obtenues par cette base de données seront discutées lors d'un comparatif avec celles qui sont calculées sur base des fiches techniques de chez le fournisseur, dans la feuille suivante.

| EcoInvent | | |
|-----------------------------------|--------|------------|
| Emission de CO2 : Transport | 0.154 | kgCO2/T/km |
| Demande en énergie : Transport | 2.5821 | MJ/T/km |

Figure 50 : Fichier Excel : Base de données EcoInvent pour le transport

De la même manière on calculera en fonction du poids de chaque matériau, le taux d'impact pour la phase de traitements des déchets.

| EcoInvent | | |
|--|-----------|----------------------|
| Emission de CO2 : Traitement des déchets | 0,0000087 | kgCO2/Kg de matériau |
| Demande en énergie : Traitement des déchets | 0,1984466 | MJ/Kg de matériau |

Figure 51 : Fichier Excel : Base de données EcoInvent pour le traitement des déchets

4.1.1.2. MOYEN D'EXECUTION ET EVACUATION DES DECHETS

Quels sont les moyens d'exécution ?

En ce qui concerne le choix des machines/engins, le tableau liste le nombre et le type de machines nécessaires au chantier de démolition. Ces données ont été établies à partir de l'entretien obtenu avec Monsieur Gilles Durigneux (cfr. Chapitre : procédé de démolition).

| Choix des engins | | |
|--|-----|--|
| 1 petits outillages pour demontage portes,.... | oui | |
| 1 petits outillages pour desolidarisation mitoyen(s),... | oui | |
| 1 grue de 30tonnes | non | |
| 1 grue de chargement à pneu de 20tonnes | oui | |
| 1 nacelle | oui | |
| suite voir feuille ci-après | | |

Figure 52 : Fichier Excel : Choix des machines/engins

Les demandes d'énergie ainsi que les émissions de CO₂ de ces derniers sont comptabilisées dans un tableau ultérieur appartenant à cette même page. Le calcul de ces impacts est possible par l'utilisation de données relatives dans les fiches techniques du fournisseur de chaque machine.

Le tableau « logistique + transport » reprend la désignation des matériaux ainsi que leurs tonnages respectifs. Ces derniers sont obtenus en additionnant le poids des matériaux de même désignation (calculé à la page précédente). Cette méthode de calcul est parfaitement adéquate aux chantiers de démolition (à savoir, le choix des différentes machines/engins devant être présents sur chantier mais, également, le choix des transports pour l'évacuation des déchets).

En effet, dans un processus de démolition, les éléments prépondérants pour la réalisation d'un devis, en plus des autres paramètres déjà décrits ci-dessus, sont essentiellement les tonnages de matériaux de nature identique plutôt que le type de parois à démolir. De cette façon, on retrouvera les catégories béton, isolant, brique, pierre,... ainsi que leurs tonnages respectifs.

Lorsque le tonnage total de matériaux est calculé, une idée de la répartition du temps d'utilisation des machines/engins selon le tonnage respectif des matériaux peut, aisément être connue.

Effectivement, l'outillage utilisé sera différent selon que l'on procède au démantèlement de poutrelles d'acier ou de dalles de béton (voir chapitre sur le procédé de démolition).

Le temps total d'utilisation d'une machine/engin est connu par le biais d'une entreprise de démolition. Pour se faire, il faut donc, commencer par calculer la part de matériaux considérés sur l'ensemble de la démolition.

$$X = \frac{T_i}{T_{tot}}$$

Avec, T_i correspondant au tonnage du matériau considéré, et T_{tot} le tonnage total de matériaux et X le pourcentage recherché.

Il convient, ensuite, de multiplier ce pourcentage obtenu par la durée totale d'utilisation de la machine/engin de la manière suivante,

$$J_i = X * J_{tot}$$

Avec, J_i correspondant à la durée d'utilisation de l'engin pour le matériau considéré et J_{tot} la durée totale d'utilisation de la machine/engin pendant tout le chantier de démolition.

De la même manière, il est possible d'avoir une idée sur la quantité des émissions de CO₂ ainsi que la demande d'énergie relative au fonctionnement de l'engin pour le matériau considéré. En règle générale, on regarde directement les valeurs qui correspondent au fonctionnement total de l'engin ou de la machine pendant le chantier.

$$Emission\ de\ CO_2\ (Kg\ \acute{e}q.\ CO_2) = \sum_i \frac{C_i * H_i * J_i}{\frac{\rho_i}{1000} * \frac{1}{F_i} * (PCI)_i}$$

$$Demande\ totale\ en\ \acute{e}nergie\ (MJ) = \sum_i C_i * H_i * J_i$$

Avec, l'indice i relatif à chaque type de machine ;

- C, la consommation de la machine/engin ;
- H, le nombre d'heures ouvrées en 1 jour ;
- J, le nombre de jour d'utilisation de la machine/engin ;
- F, le taux d'émission de CO₂ par Litre en Kg éq. CO₂/L ;
- PCI, le pouvoir calorifique du carburant utilisé en MJ/Kg ;
- ρ, la masse volumique du carburant utilisé en Kg/m³

Le tableau récapitulatif ci-dessous permet de montrer les différentes valeurs dont je me suis appuyée pour réaliser mon étude.

| | Petits outillages | Grue 30 tonnes | Grue chargement à pneus | Nacelle |
|---|----------------------|-------------------|-------------------------------|---------|
| Jours d'utilisations en démolition totale | 8 | 15 | 5 | 5 |
| Jours d'utilisations en démolition partielle | 10 | 0 | 0 | 0 |
| Heures/Jour | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Kw/Jour | 23 | | | |
| Kw | | 151 | 180 | 31.2 |
| MJ/Jour | 82.8 | | | |
| MJ/Heures | 10.35 | | | |
| PCI diesel MJ/Kg | 42.5 | 42.5 | 42.5 | 42.5 |
| Kg éq. CO ₂ /Litre | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |

Figure 53 : Fichier Excel : Données techniques des machines/engins [Portail : Cat.2012 ; Haulotte.2012 ; Ecolnvent]

De quelle manière les déchets sont évacués et que génère cette évacuation ?

Les différents matériaux devenus déchets sont triés selon leur même nature pour, ensuite, être chargés en camion et être transportés vers leur centre respectif (voir chapitre sur le recyclage). On obtient donc le tonnage total de déchets de même nature qui peut être transporté dans un même container,

$$P_{tot} = \sum_i P$$

Avec, l'indice i qui correspond à des déchets de même nature

Pour le transport de ces différents déchets, trois choix de transport s'offrent à nous :

- les camions pouvant transporter 17 tonnes par tour ;
- ceux qui transportent 30 tonnes par tour ;
- les derniers transportant 2 X 10 tonnes par tour.

Celui-ci sera fonction du tonnage obtenu précédemment. On retrouve par exemple,

| Dechet | Tonnes | choix du camion |
|-------------|--------|--------------------------|
| total beton | 658,52 | camion semi (30T/tours) |
| | | camion 4axes (17T/tours) |
| | | camion semi (30T/tours) |
| | | camion (2*10T/tours) |

Figure 54 : Fichier Excel : Choix des camions selon le tonnage de déchets à évacuer

Une fois le type de transport connu pour chaque déchet de nature différente, le nombre de jours pendant lesquels le moyen de transport doit être utilisé, peut être déterminé.

Pour ceci, il est important de poser comme hypothèse qu'un seul camion circule et assure l'évacuation des déchets de même nature.

Le nombre de jours nécessaires à l'évacuation des déchets de même nature se calcule de la manière suivante :

$$J = \frac{T_i}{T_{lim}} * \frac{1}{t}$$

Avec,

- J, le nombre de jour nécessaire à l'évacuation de déchet de même nature ;
- T_i , le tonnage de déchet à évacuer, de même nature ;
- T_{lim} , le tonnage limite du au transport par tour effectué ;
- t, le nombre de trajet pouvant être effectué en 1 jour

Pour ce qui est du tonnage limite, ce dernier dépend bien évidemment, du transport qui a été choisi pour permettre l'évacuation des déchets (voir ci-dessus).

Le nombre de trajets effectués en une journée dépend quant à lui, de plusieurs paramètres tels que :

- le nombre de Km séparant le chantier au centre spécifique ;
- la vitesse maximum du transport lorsqu'il est en charge ou non ;
- le nombre d'heures prestées par jour.

De cette façon, on calcule le nombre de trajets effectués en 1 jour, t , de la manière suivante,

$$t = \frac{H}{d}$$

Avec,

- H , le nombre d'heure ouvrée en 1 jour
- d , la durée nécessaire à un trajet

$$d = 2 * (d_1) + 2 * \left(\frac{A}{v_{moy}} \right)$$

Avec,

- d_1 , la durée nécessaire au chargement/déchargement des déchets ;
- v_{moy} , la vitesse moyenne du véhicule, elle est obtenue en faisant la moyenne de la vitesse du camion à vide et chargé ;
- A , le nombre de Km à effectué lors d'un trajet complet.

Une analyse des différents descriptifs techniques relatifs aux types de transports choisis permet d'établir précisément les caractéristiques suivantes :

- la consommation du véhicule ;
- la vitesse moyenne du transport lorsque ce dernier est chargé ;
- la vitesse moyenne du transport lorsque ce dernier est à vide,...

Ainsi, on obtient la vitesse moyenne du transport lors d'un trajet (celui-ci étant défini comme la distance parcourue par un transport du départ du chantier vers les centres spécifiques relatifs aux déchets, suivi de son retour vers le chantier).

Comme établi dans la formule précédente, le temps de trajet comprend le temps nécessaire au chargement et déchargement des déchets, qui sera dans mon cas, pris en tant qu'hypothèse, puisque je prévois une durée totale de transit de 30 minutes, mais aussi le temps de parcours prévu.

Maintenant que le nombre de jours d'utilisation du transport est connu, il est très facile d'obtenir les valeurs d'émissions de CO2 ainsi que la demande en énergie afférentes à cette phase d'évacuation des déchets.

$$\text{émission totale de CO2 (Kg éq. CO2)} = \sum_i D_i * F_i * C_i * J_i$$

$$\text{Demande totale en énergie} = \sum_i D_i * \frac{\rho_i}{1000} * C_i * (PCI)_i * J_i$$

Avec

- D, la distance parcourue en 1 jour ;
- F, le taux d'émission de CO₂ par Litre en Kg éq. CO₂/L ;
- C, la consommation du véhicule ;
- J, le nombre de jour d'utilisation du véhicule ;
- PCI, le pouvoir calorifique du carburant utilisé en MJ/Kg ;
- ρ , la masse volumique du carburant utilisé en Kg/m³ .

Avec, l'indice i relatif à chaque type de transport utilisé.

Le tableau récapitulatif ci-dessous permet de montrer les différentes valeurs dont je me suis appuyée pour réaliser mon étude.

| | Camion brosse | Camion 17 tonnes | Camion 2*10 tonnes | Camion 30 tonnes |
|--|---------------|------------------|--------------------|------------------|
| Jours d'utilisations fonctions de divers paramètre énoncés ci-dessus | | | | |
| PCI diesel MJ/Kg | 42.5 | 42.5 | 42.5 | 42.5 |
| Litres/Km | 0.32 | 0.4 | 0.32 | 0.32 |
| Trajet Km | 60 | 60 | 60 | 60 |
| Kg CO ₂ /Litres | 2.6 | 2.6 | 2.6 | 2.6 |
| Kg/Litre | 0.85 | 0.85 | 0.85 | 0.85 |
| Vitesse en charge | | 70 | 70 | 70 |
| Vitesse à vide | | 90 | 90 | 90 |

Figure 55 : Fichier Excel : Données techniques des différents camions [Portail : scania.2012]

Ce nouveau procédé de calcul permet de comparer les résultats à ceux obtenus par la base de données EcoInvent.

4.1.1.3. RECYCLAGE

Afin de comptabiliser les données du recyclage des matériaux, une nouvelle feuille EXCEL a été créée. Celle-ci se base exclusivement sur le tonnage des matériaux recevant un traitement spécifique en fin de vie (voir chapitre sur le recyclage). Comme annoncé auparavant, les tonnages ont donc déjà été calculés sur la feuille précédente.

Pour chaque traitement, il y a lieu de considérer la consommation des différentes machines associées aux déchets. Pour se faire les valeurs ont été tirées d'une étude réalisée par Mathieu Hensenne dans le cadre de son TFE. (Cfr. Chapitre : recyclage)

4.1.2. PHASE DE RENOVATION/RECONSTRUCTION

4.1.2.1. CHANTIER RENOVATION/RECONSTRUCTION

Cette feuille permet de reprendre les caractéristiques générales du bâtiment neuf ou rénové. Elle définit aussi le nombre de jours de chantier ainsi que le nombre d'hommes qui devront intervenir. Ceux-ci ont été déterminés sur base d'entretiens oraux avec les différents corps de métier. Comme pour la phase de démolition, le taux d'impact lié au transport des hommes sera calculé en fonction du nombre d'hommes, du type de transport ainsi que des distances parcourues.

4.1.2.2. COMPOSITIONS DES PAROIS ET VALEURS DE U

De manière à avoir une présentation similaire à la feuille Excel intitulée « démolition », j'ai trouvé intéressant de rajouter deux nouvelles colonnes à la feuille existante. Je peux ainsi, prendre directement en compte, les taux d'impacts liés aux transports des nouveaux matériaux selon la base de données EcolInvent et les taux d'impacts qui sont liés au fonctionnement des différentes machines/engins. Ceux-ci étant, comme pour la phase de démolition, déterminés en considérant les valeurs des fiches techniques des fournisseurs de machines/engins spécifiques.

| | Petits outillages | Grue tour 30 tonnes |
|--|----------------------|------------------------|
| Jours d'utilisations en reconstruction neuve | 469 | 352 |
| Jours d'utilisations en rénovation | 489 | 163 |
| Heures/Jour en reconstruction neuve | 4 | 8 |
| Heures/Jour en rénovation | 8 | 8 |
| Kw/Jour | 23 | |
| Kw | | |
| MJ/Jour | 82,8 | 8000 |
| MJ/Heures | 10,35 | 1000 |
| PCI diesel MJ/Kg | 42,5 | 42,5 |
| Kg éq. CO2/Litre | 2,6 | 2,6 |

Figure 56 : Fichier Excel : Données techniques des machines/engins

4.1.2.3. MOYEN D'EXECUTION ET TRANSPORT DE NOUVEAUX MATERIAUX

Cette nouvelle feuille EXCEL permet de prendre en compte, le transport des nouveaux matériaux de l'usine de fabrication vers le chantier, en passant par un dépôt intermédiaire, mais également, le type d'engins nécessaires au chantier de rénovation ou de reconstruction.

La méthode de calcul reste sensiblement la même que pour la feuille intitulée « Moyen d'exécution et évacuation des déchets » hormis quelques petites différences.

Le calcul du tonnage des différents matériaux sera, lui, calculé par rapport à la feuille « compositions des parois et valeur de U » dans laquelle les différentes compositions des nouvelles parois ont été décrites.

Selon le tonnage de matériaux spécifiques obtenus, on choisit le transport adéquat. Comme précédemment, il est important de prendre en compte un facteur essentiel quant au transport des différentes marchandises.

En effet, lorsque par exemple, une commande de 5 tonnes de carrelages est envoyée auprès de fabricants Italiens, il est évident que pour l'expédition vers la Belgique, le chargement transportera la

commande du chantier, mais aussi celle d'autres négociants et ce, afin de réduire les nombres de transits pour le fabricant. Un camion de 17 tonnes sera, dans ce cas, utilisé et chargé au maximum.

On peut ensuite calculer les valeurs d'émission de CO2 et de demandes d'énergie de la même façon que précédemment, en fonction du nombre de jours d'utilisation mais aussi du transport correspondant à un transit de matériaux parfois plus important que ce qui a été demandé. Si l'on veut connaître les valeurs précises concernant le tonnage propre au chantier, il est nécessaire d'affecter les différentes valeurs calculées d'un certain pourcentage. Ce dernier correspond au rapport entre le tonnage de matériaux dont on a réellement besoin pour le chantier et celui qui est transporté depuis l'usine de fabrication jusqu'au dépôt intermédiaire.

Dans un premier temps, je considère que la distance totale séparant l'usine de fabrication au chantier de Forest est de 30Km. Ensuite, je regarde ce que j'obtiens en prenant les distances réelles.

| Matériaux considérés | Adresse du fournisseur | Société | Km |
|-----------------------------|--|----------------------------|-----------|
| Enduit de chaux | Fernelmont rue de tronquoy | BEAL | 88,6 |
| Enduit hydrofuge | ZI de Fleurus, rue Fontenelle, 25 6240 Farciennes | technichem | 57,1 |
| Isolant celit | Rue des Tourterelles 13A, 6534 GOZEE. | ecomibat | 65,4 |
| Poutrelle acier | liège | arcelor | 106 |
| Résine therm durcissable | | | 30 |
| Cellulose | 40230 Saint Geours de Marenne, Rue du Pays d'Orthe Zone Atlantisud | ouateco | 1037 |
| Béton, mortier | Quai d'Aa 13 1070 Anderlecht | ready beton | 4,8 |
| Chape | Soignies, chaussée du Roeulx 230 | A.B.G stone | 43,8 |
| Hourdis, prédalle | Rue Du Trixhay, 39, 4020 WANDRE | COLLINET GRES & BETON | 108 |
| Brique | Péruwelz - Rue de l'Europe 11 -7600 Péruwelz | wienerberger | 87,8 |
| Carrelage | via stalate 467 n°136 42013 Santonino Italie | Armonie | 1172 |
| Laine minérale | visé | knauf | 113 |
| EPS | oosterhout Pays bas | knauf | 130 |
| PUR | industrielaan 9 9990 Maldegem | polymer insulation product | 92,3 |
| Bloc béton | <i>1401 Bateurs</i> | Joseph Marin Ets SA | 27,4 |
| OSB | Luxembourg L - 4902 Sanem | Kronospan Luxembourg S.A. | 211 |
| Châssis bois | Bruxelles | <i>art-ko</i> | 5,6 |
| Couche drainante PS | Rue du Prince Albert 33 Bruxelles | solvay SA | 6,4 |
| Membrane filtrante PVC | Rue du Prince Albert 33 Bruxelles | solvay SA | 6,4 |
| Pare vapeur PVC | Rue du Prince Albert 33 Bruxelles | solvay SA | 6,4 |

| | | | |
|-----------------------|--------------------------------|-------------------------|------|
| Plâtre | 44 R Des Palais 1030 Bruxelles | TOUPRET BENELUX SPRL | 8,7 |
| Gy proc | 44 R Des Palais 1030 Bruxelles | TOUPRET BENELUX SPRL | 8,7 |
| Panne | Braine-l'Alleud | bois Paul Andre | 28,9 |
| Substrat + végétation | | | 30 |
| Etanchéité bitume | | | 30 |

Figure 57 : Fichier Excel : Distance séparant chaque fournisseur au chantier de Forest

5. DISCUSSION des trois critères de durabilité sur base d'une comparaison entre le choix d'une rénovation ou d'une démolition/reconstruction

5.1. COMPARAISON ENVIRONNEMENTALE

Ce chapitre me permet de résumer, les divers résultats obtenus par l'Analyse en Cycle de Vie par rapport à la rénovation ou à la démolition suivie de la reconstruction du bâtiment de bureaux situé à Forest (cas d'étude de ce travail).

Afin d'être totalement compréhensible, je joins un tableau récapitulatif des différentes hypothèses utilisées pour ce travail.

| | Rénovation | Démolition/Reconstruction |
|--|--|--|
| Chantier phase1 : Démolition Totale/partielle | | |
| Durée du chantier (calculé selon le rendement) | 10 jours | 30 jours |
| Nombre d’homme | 6 | 2 |
| | Emissions de CO2/ Demandes en énergie | |
| Transport : 1 camionnette (essence) distance de 45Km | 0,2 Kg éq. CO2/Km 3,285 MJ/Km | |
| Remarque : Le nombre d’homme sur le chantier de démolition partielle peut être plus important que pour la démolition totale. En effet, pendant que les hommes démolissent un mur, les autres peuvent enlever un escalier, par exemple. En démolition totale, par contre le nombre d’homme est limité pour des questions de sécurité. | | |
| Engins/machines : - Petits outillages - Pelle hydraulique 30tonnes - Grue de chargement - Nacelle | 10 jours (8heures/jour) 0 0 0 | 8 jours (8heures/jour) 15 jours (8heures/jour) 5 jours (8heures/jour) 5 jours (8heures/jour) |
| | Emissions de CO2/Demandes en énergie | Emissions de CO2/Demandes en énergie |
| Engins/machines : - Petits outillages - Pelle hydraulique 30tonnes - Grue de chargement - Nacelle | 0,155 Kg éq. CO2/T 2,159 MJ/T | 0,034 Kg éq. CO2/T 0,469 MJ/T 3,323 Kg éq. CO2/T 46,175 MJ/T 1,321 Kg éq. CO2/T 18,348 MJ/T 0,229 Kg éq. CO2/T 3,180 MJ/T |
| Transport des déchets | | |
| Distance : - Chantier-décharge - Chantier-centre de recvclage | 60Km 30Km | |

| | | |
|--|---|-----------|
| | | |
| | Emissions de CO2/ Demandes en énergie | |
| EcolInvent | 0,154 Kg éq. CO2/T/Km 2,5821 MJ/T/Km | |
| Fiches techniques : (diesel) - Camion 17 tonnes - Camion 2*10 tonnes - Camion 30 tonnes | 0,0611 Kg éq. CO2/T/Km 0,9 MJ/T/Km 0,0416 Kg éq. CO2/T/Km 0,612 MJ/T/Km 0,0213 Kg éq. CO2/T/Km 0,408 MJ/T/Km | |
| Traitement des déchets | | |
| | Emissions de CO2/ Demandes en énergie | |
| EcolInvent | 0,0000087 Kg éq. CO2/Kg 0,1984466 MJ/Kg | |
| Fiches techniques : - Broyeur (béton) - Recyclage acier - Broyeur (bois) - Verre | 4,38 MJ/T 0,7955 MJ/Kg 2,63 MJ/T 11 MJ/Kg | |
| Extraction/Fabrication des matériaux | | |
| Base de données pour chaque matériau selon BEES, CRTI, INIES | | |
| Transport des nouveaux matériaux de l’usine vers le chantier | | |
| Distance : - usine-chantier - usine-chantier (réf. Adresse fournisseur) | 30Km Varie selon le matériau considéré | |
| | Emissions de CO2/ Demandes en énergie | |
| EcolInvent | 0.154 Kg éq. CO2/T/Km 2.5821 MJ/T/Km | |
| Fiches techniques : (diesel) - Camion 17 tonnes - Camion 2*10 tonnes - Camion 30 tonnes | 0,0611 Kg éq. CO2/T/Km 0,9 MJ/T/Km 0,0416 Kg éq. CO2/T/Km 0,612 MJ/T/Km 0,0213 Kg éq. CO2/T/Km 0,408 MJ/T/Km | |
| Chantier phase 2 : Rénovation/Reconstruction du bâtiment neuf | | |
| Durée du chantier | 489 jours | 469 jours |
| Nombre d’homme | 6 | 6 |
| | Emissions de CO2/ Demandes en énergie | |
| Transport : 1 camionnette (essence) distance de 45Km | 0,2 Kg éq. CO2/Km 3,285 MJ/Km | |
| Engins/machines : | | |

| | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Petits outillages - Grue tour 30tonnes | 489 jours (8heures/jour) 163 jours (8heures/jour) | 469 jours (4heures/jour) 352 jours (8heures/jour) |
| | Emissions de CO2/Demandes en énergie | Emissions de CO2/Demandes en énergie |
| Engins/machines : <ul style="list-style-type: none"> - Petits outillages - Grue tour 30tonnes | 3,967 Kg éq. CO2/T 55,118 MJ/T 127,761 Kg éq. CO2/T 1775,136 MJ/T | 0,862 Kg éq. CO2/T 11 ,974 MJ/T 124,901 Kg éq. CO2/T 1735,406 MJ/T |
| Transport des déchets de chantier (palette de bois, emballage,...) | | |
| | 1,1% du tonnage totale de matériau | 7,3% du tonnage totale de matériau |

Tableau 14 : Hypothèses de travail

Afin d'examiner la comparaison environnementale, examinons déjà les résultats obtenus au niveau de l'analyse complète en prenant en compte les différentes phases pour les deux scénarios étudiés, c'est-à-dire,

- de la démolition éventuelle à la réception du bâtiment après rénovation
- ou la reconstruction.

Comme précisé précédemment, les impacts environnementaux dus à la phase de vie du bâtiment après rénovation ou reconstruction restent relativement les mêmes dans les deux cas (les quelques exceptions portent principalement sur l'étanchéité à l'air qui s'avère plus difficile à assurer en rénovation).

Voici ce que l'on peut observer pour le cycle de vie étudié.

Potentiel de réchauffement global, PRG : ACV générale

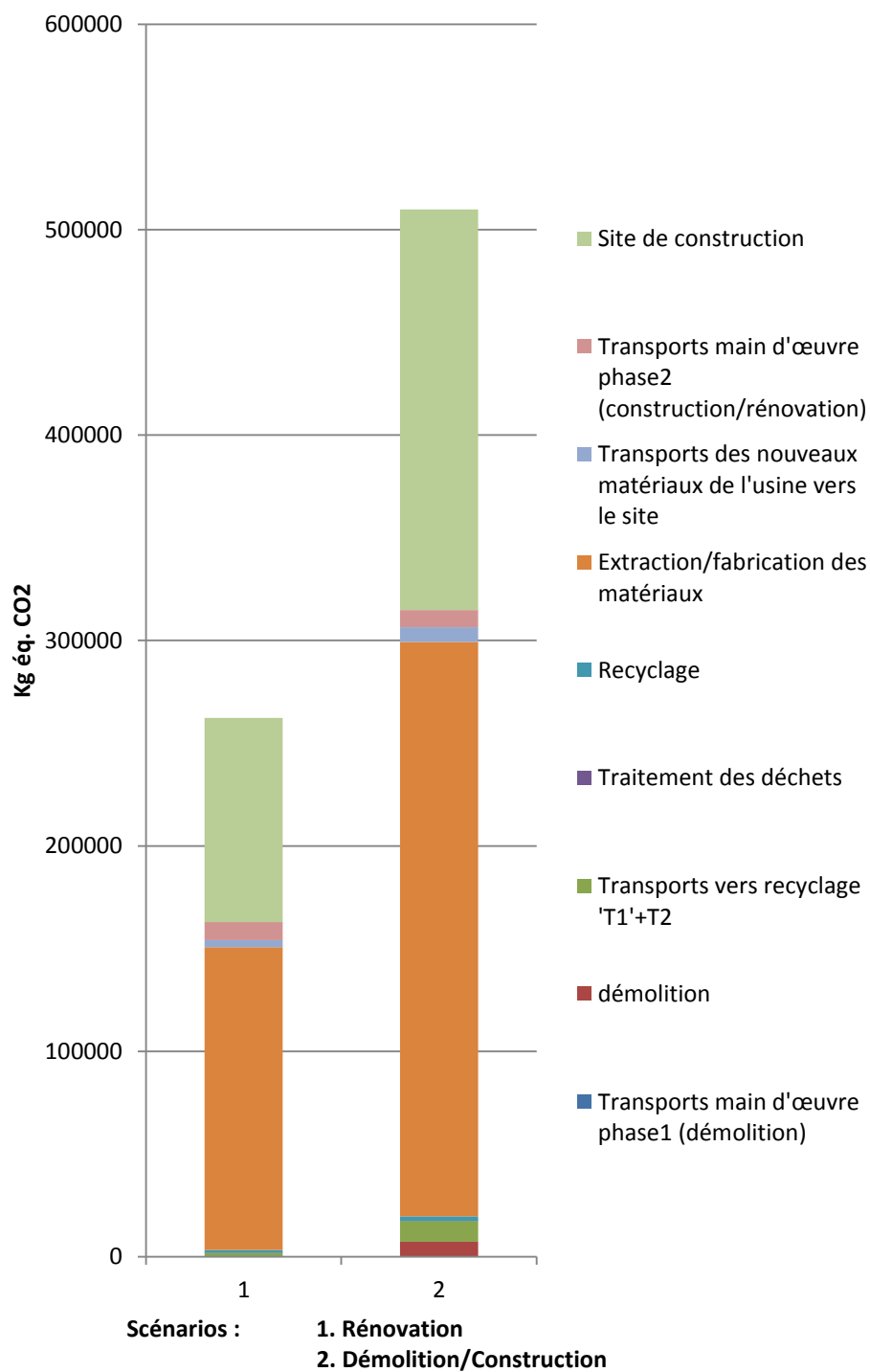


Figure 58 : Potentiel de réchauffement global sur l'ensemble du cycle de vie étudié

Demande en énergie, DCE : ACV générale

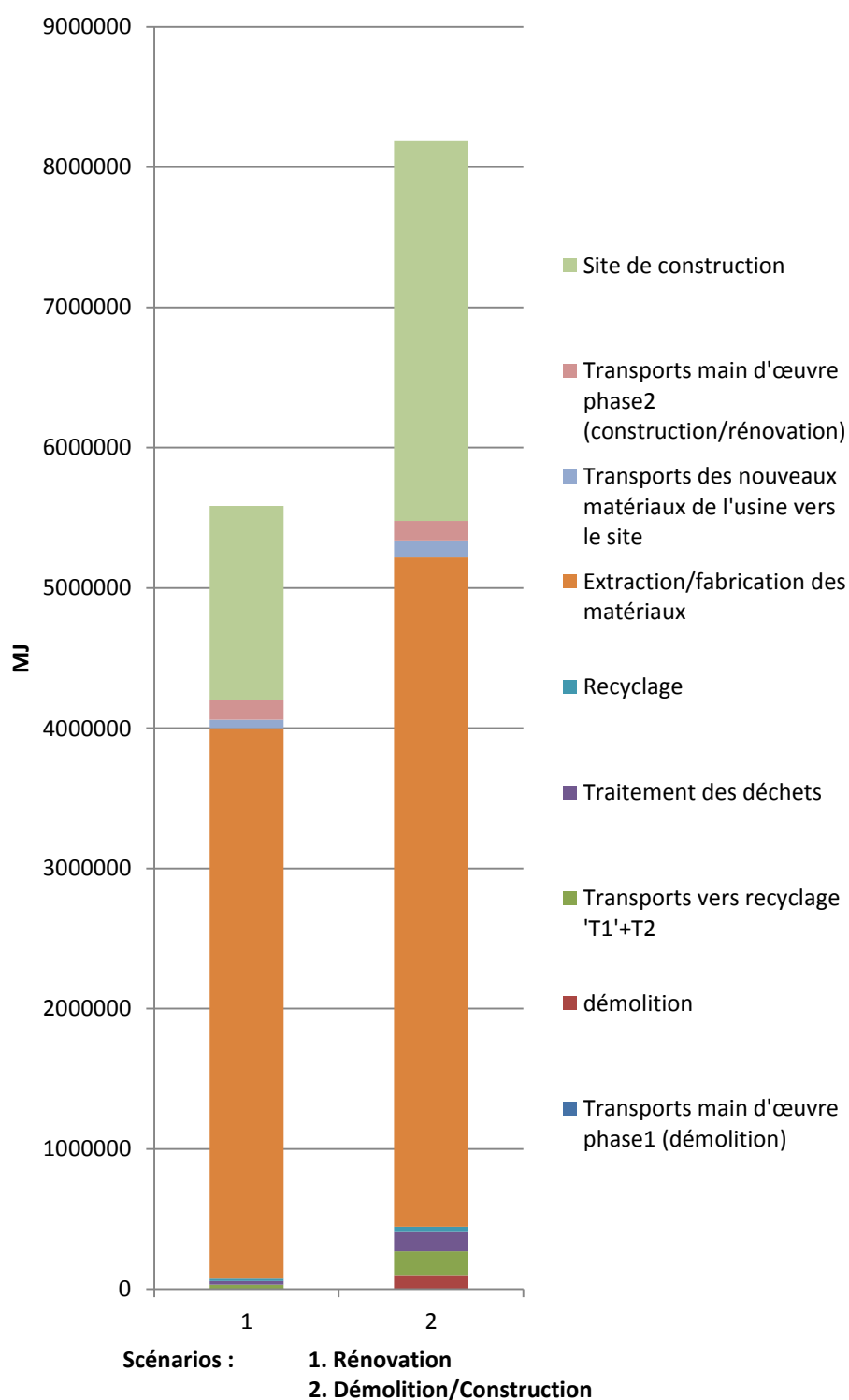


Figure 59 : Demande d'énergie sur l'ensemble du cycle de vie étudié

En étudiant les graphes, on se rend compte que deux phases influencent de façon majoritaire le potentiel de réchauffement global ainsi que la demande en énergie.

Celles-ci correspondent à l'extraction/Fabrication des matières premières et au fonctionnement des engins sur chantier lors de la rénovation ou la reconstruction. Ainsi, les autres phases telles que,

- le transport des ouvriers sur chantier ;
- le fonctionnement des engins de chantier (correspondant à la démolition) ;
- le transport des déchets jusqu'à leur centre respectif relatif à leur fin de vie ;
- et le transport des nouveaux matériaux de l'usine vers le site du chantier, n'ont que très peu d'influence.

Les résultats nous montrent que globalement, la démolition/reconstruction en matériaux traditionnels aura plus de conséquence sur l'environnement qu'une rénovation et ce, quelle que soit l'importance de la rénovation réalisée (cfr. mon cas d'étude). Rappelons que la rénovation étudiée dans ce TFE comporte des exigences de performances énergétiques et patrimoniales qui ont induit un chantier de rénovation de grande ampleur.

En regardant les chiffres de plus près, il apparaît clairement que la partie démolition et reconstruction induit un potentiel de réchauffement global de plus de 94,4 % et une demande en énergie de plus de 46,59 % par rapport au cadre d'une rénovation. Ces résultats découlent, principalement, de la phase d'extraction / fabrication des matériaux qui représente la phase la plus problématique quant à l'environnement et qui induit une différence importante en fonction du scénario choisi.

| Les différentes phases de l'ACV | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL | |
|---|--|-------------------------------|
| | Kg éq. CO2 | |
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/ Reconstruction |
| Transports main d'œuvre phase1 (démolition) | 121,9014949 | 249,6950757 |
| démolition | 40,4067343 | 7.098,094349 |
| Transports vers recyclage 'T1'+T2 | 1.801,739424 | 10.025,47991 |
| Traitement des déchets | 1,130961976 | 6,293050161 |
| Recyclage | 1.232,404485 | 2.265,663903 |
| Extraction/fabrication des matériaux | 147.418,97 | 279.614,72 |
| Transports des nouveaux matériaux de l'usine vers le site | 3.486 | 7.165 |
| Transports main d'œuvre phase2 (construction/rénovation) | 8.802 | 8.442 |
| Site de construction | 99.388 | 195.039 |
| TOTAL | 262.292,8218 | 509.906,2936 |

Tableaux 15 : Potentiel de réchauffement global en fonctions des différentes phases de l'ACV pour les deux scénarios étudiés

| Les différentes phases de l'ACV | DEMANDES EN ENERGIE MJ | |
|---|------------------------|-------------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/ Reconstruction |
| Transports main d'œuvre phase1 (démolition) | 1.845,037438 | 3.181,301633 |
| démolition | 561,420491 | 98.622,5609 |
| Transports vers recyclage 'T1'+T2 | 30.209,55432 | 168.096,0499 |
| Traitement des déchets | 25.797,19067 | 143.544,1848 |
| Recyclage | 17.123,31231 | 31.479,65711 |
| Extraction/fabrication des matériaux | 3.925.369,78 | 4.772.987,04 |
| Transports des nouveaux matériaux de l'usine vers le site | 58.446 | 120.133 |
| Transports main d'œuvre phase2 (construction/rénovation) | 144.572,85 | 138.659,85 |
| Site de construction | 1.380.926 | 2.709.923 |
| TOTAL | 5.584.851,462 | 8.186.626,867 |

Tableaux 16: Demandes en énergie en fonction des différentes phases de l'ACV pour les deux scénarios étudiés

Cette observation est assez logique puisque la rénovation permet une conservation importante des parois présentes initialement telles que,

- les façades ;
- les planchers ;
- et les cloisons.

En fonction de leurs compositions respectives, une conservation importante des matériaux et un approvisionnement de nouveaux matériaux nettement inférieur à la reconstruction du bâtiment neuf sont également constatés (voir ci-dessous).

Tonnage des nouveaux matériaux

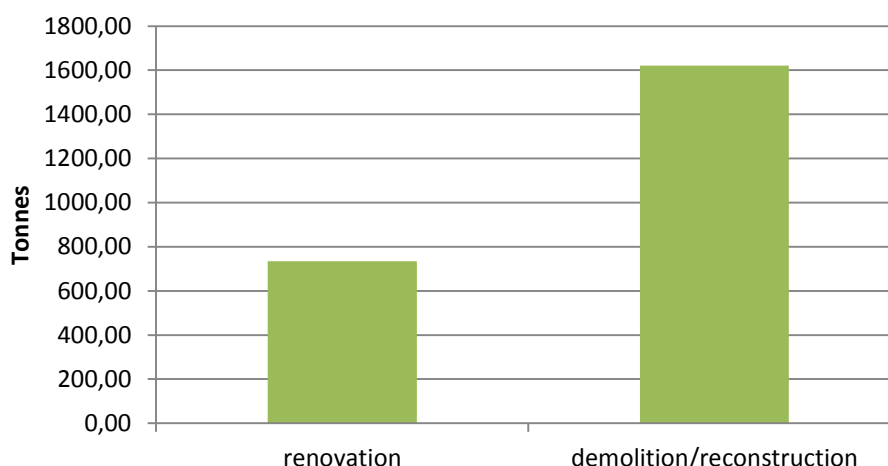


Figure 60 : Tonnage des nouveaux matériaux nécessaire à la reconstruction ou rénovation du bâtiment

Afin d'assurer la validité de cette conclusion, une étude de sensibilité ainsi qu'une étude paramétrique des différents éléments pouvant influencer le résultat final sera réalisée.

Comme dit auparavant, la phase la plus influente de l'Analyse en Cycle de Vie (ACV) correspond à l'extraction/fabrication des matériaux. Examinons, alors en premier lieu, les variations s'y rapportant.

Dans le cas initial, voici ce que l'on observe,

Potentiel de réchauffement global, PRG: nouvelles parois

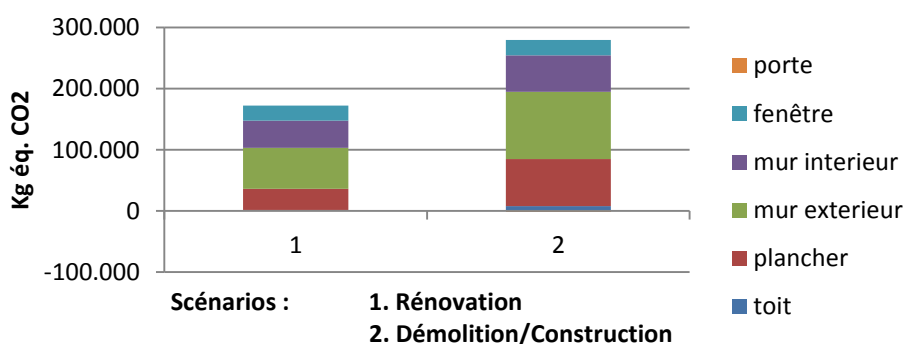


Figure 61 : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi

Demandes en énergie, DCE: nouvelles parois

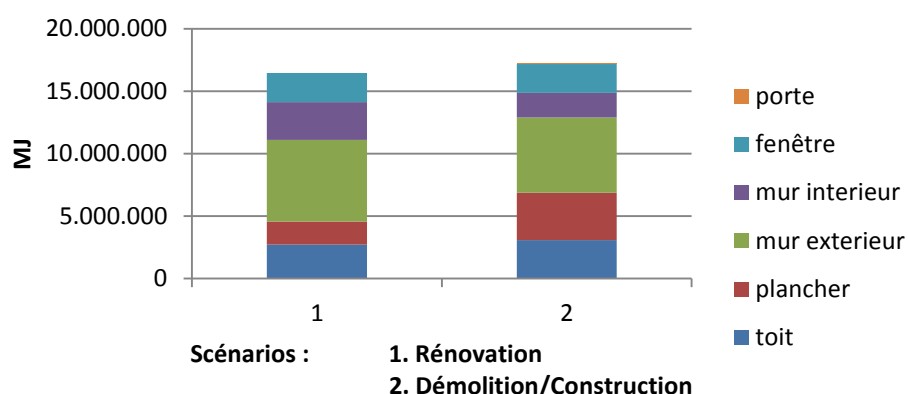


Figure 62 : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi

| Nouvelle parois | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL, Kg éq. CO2 | |
|-----------------|---|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| toitures | 1.393 | 8.101 |
| planchers | 34.600 | 76.884 |
| murs extérieurs | 67.238 | 109.803 |
| murs intérieurs | 44.188 | 59.854 |
| fenêtres | 24.976 | 24.976 |
| portes | 0 | -3 |
| TOTAL | 172.395 | 279.615 |

Tableau 17 : potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi

| Nouvelles parois | DEMANDE EN ENERGIE, MJ | |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| toitures | 2.719.093 | 3.078.307 |
| planchers | 1.856.647 | 3.786.318 |
| murs extérieurs | 6.527.804 | 6.016.946 |
| murs intérieurs | 3.027.787 | 1.986.938 |
| fenêtres | 2.314.107 | 2.314.107 |
| portes | 0 | 137 |
| TOTAL | 16.445.438 | 17.182.753 |

Tableau 18 : Demande en énergie relative aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi

Nous remarquons, pour les parois intitulées « murs extérieurs » une plus grande demande d'énergie pour la rénovation par rapport à la démolition reconstruction.

Ceci est assez surprenant, mais s'explique tout simplement par le choix du procédé de rénovation extrêmement énergivore (ajout ponctuel de poutrelles d'aciers et de colonnes en béton armé pour assurer leur support à l'endroit de liaison « murs extérieurs/planchers ») afin de garantir, comme déjà dit plus haut, la continuité parfaite de l'isolant.

Si ce procédé n'avait pas été choisi, les chiffres seraient considérablement meilleurs pour la rénovation. Hors une rénovation énergétique visant le standard PEB actuel pourrait être réalisée de manière plus simple.

Potentiel de réchauffement global, PRG: nouvelles parois

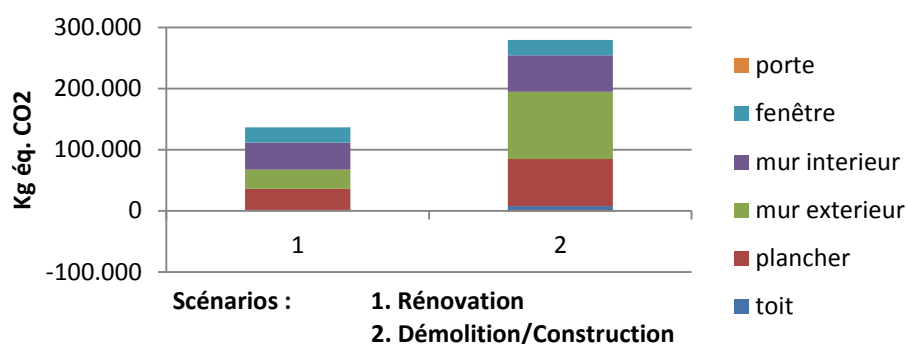


Figure 63 : Potentiel de réchauffement global relatif à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et de colonnes de béton armé

Demandes en énergie, DCE: nouvelles parois

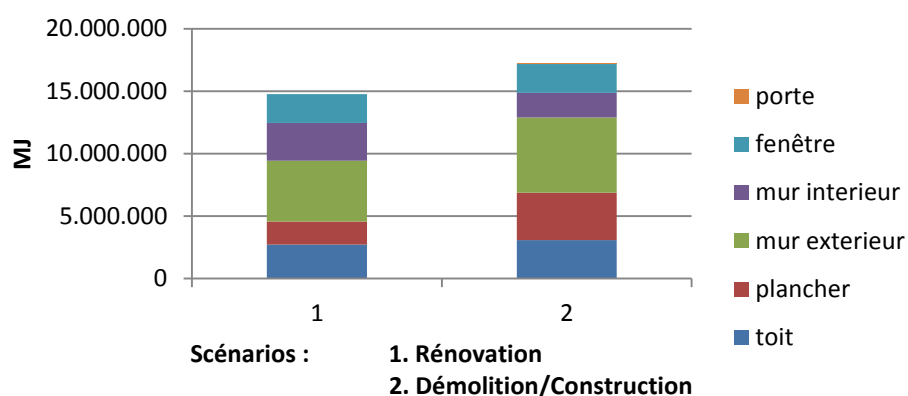


Figure 64 : Demande en énergie relative à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et colonnes de béton armé

| Nouvelles parois | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL, Kg éq. CO2 | |
|------------------|---|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 31.488 | 109.803 |

Tableau 19 : Potentiel de réchauffement global relatif à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et colonnes de béton armé

| Nouvelles parois | DEMANDE EN ENERGIE, MJ | |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 4.855.789 | 6.016.946 |

Tableau 20 : Demande en énergie relative à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et des colonnes de béton armé

En changeant juste le procédé de rénovation, soit **sans** :

- l'emploi de poutrelles métalliques ;
- et de colonnes de supports en béton armé ;

une diminution de 53% du potentiel de réchauffement global et de 25,6% en matière de consommation en énergie apparaît.

Revenons à notre cas de base et regardons maintenant, ce que nous révèle l'analyse de sensibilité lorsque l'on choisit de faire varier les trois bases de données qui sont CRTI, BEES INIES.

Prenons maintenant le temps de revenir à notre cas d'étude et observons ce que nous révèle l'analyse de sensibilité lorsque l'on choisit de faire varier les trois bases de données : CRTI, BEES INIES.

En exemple, j'effectue la variation sur les blocs de béton représentant pour « les murs extérieurs », le matériau le plus nocif au regard de l'environnement, toujours en terme de potentiel de réchauffement global et de demande en énergie. Initialement la base de données choisie pour ce dernier était celle du CRTI (cfr tableaux A et B).

Lorsqu'on prend la base de données BEES pour le matériau considéré, nous observons le résultat suivant,

| Nouvelles parois | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL, Kg éq. CO2 | |
|------------------|---|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 74.494 | 130.772 |

Tableau 21 : Potentiel de réchauffement global relatif à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données BEES

| Nouvelles parois | DEMANDE EN ENERGIE, MJ | |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 6.813.270 | 6.841.876 |

Tableau 22 : Demande en énergie relatives à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données BEES

On arrive aux conclusions suivantes, à savoir :

1. En matière de rénovation, on relève une augmentation supplémentaire de 10,8% d'émissions de CO₂ et de 4,4% de la demande en énergie.
2. Dans le cadre d'une démolition/reconstruction, les résultats révèlent une augmentation encore plus importante de 19% d'émissions de CO₂ et de 13% de la demande en énergie.

En cause : l'utilisation d'une plus grande quantité de nouveaux blocs de béton dans ce cas précis.

Dans le cas de la base de données INIES, les valeurs suivantes s'observent :

| Nouvelles parois | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL, Kg éq. CO ₂ | |
|------------------|---|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 63.499 | 98.999 |

Tableau 23 : Potentiel de réchauffement global relatif à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données INIES

| Nouvelles parois | DEMANDE EN ENERGIE, MJ | |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| murs extérieurs | 6.566.171 | 6.127.818 |

Tableau 24 : Demande en énergie relatives à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données INIES

En regard de la base de données initiale soit (CRTI), on constate :

1. en matière de rénovation, une diminution de 5,5 % du potentiel de réchauffement global et une (infime) augmentation de 0,6 % de la demande en énergie.
2. dans le cadre d'une démolition/reconstruction, une diminution plus importante de 9,8% du potentiel de réchauffement global et une augmentation de 1,8% de la demande en énergie.

Pour conclure cette première analyse, le fait d'introduire une modification au niveau des bases de données amène certainement à des variations au niveau de chaque matériau, sans permettre toutefois de modifier réellement la conclusion principale à savoir : la rénovation (suivants les deux impacts analysés lors de mon étude ACV) reste la meilleure solution du point de vue environnemental face à la démolition/reconstruction.

Afin de vérifier si ma conclusion est toujours d'actualité, passons dès à présent à l'analyse paramétrique. Pour se faire, je vais considérer un remplacement d'au moins 10% des matériaux (qui

étaient conservés dans leur totalité dans mon étude initiale). Ceci affecte donc les valeurs initialement obtenues pour la rénovation et ne modifie en rien celles correspondants à la démolition/reconstruction.

Potentiel de réchauffement global, PRG: nouvelles parois

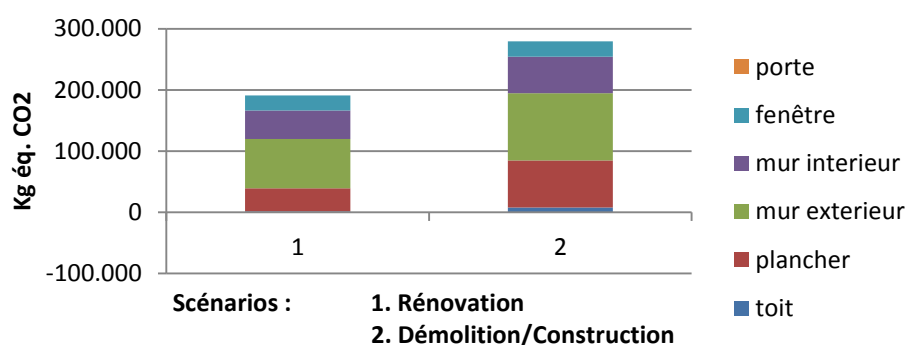


Figure 65 : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 20% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

Demandes en énergie, DCE: nouvelles parois

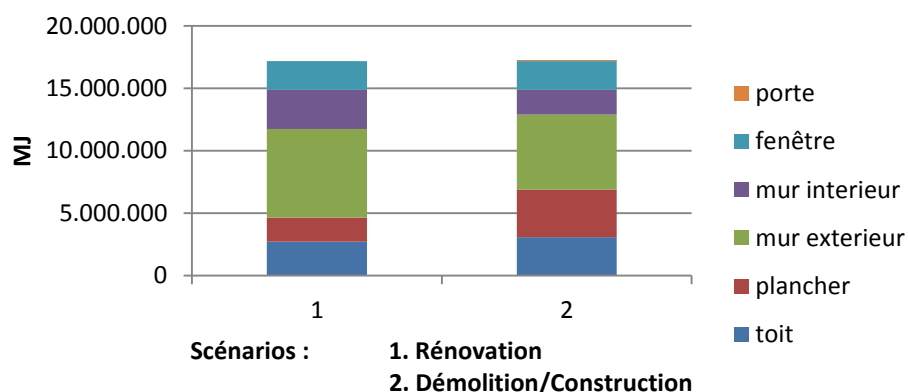


Figure 66 : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 20% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

| Nouvelles parois | POTENTIEL DE RECHAUFFEMENT GLOBAL, Kg éq. CO2 | |
|------------------|---|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| toitures | 1.393 | 8.101 |
| planchers | 37.947 | 76.884 |
| murs extérieurs | 80.606 | 109.803 |
| murs intérieurs | 46.388 | 59.854 |
| fenêtres | 24.976 | 24.976 |
| portes | 0 | -3 |
| TOTAL | 191.311 | 279.615 |

Tableau 25 : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 10% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

| Nouvelles parois | DEMANDE EN ENERGIE, MJ | |
|------------------|------------------------|---------------------------|
| | Scénarios | |
| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
| toitures | 2.719.093 | 3.078.307 |
| planchers | 1.924.548 | 3.786.318 |
| murs extérieurs | 7.092.811 | 6.016.946 |
| murs intérieurs | 3.130.388 | 1.986.938 |
| fenêtres | 2.314.107 | 2.314.107 |
| portes | 0 | 137 |
| TOTAL | 17.180.947 | 17.182.753 |

Tableau 26 : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 10% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

Dès lors, on relève une augmentation de 11% pour le potentiel de réchauffement global (la marge entre les valeurs obtenues pour la rénovation et la démolition/reconstruction reste encore très élevée). Il faudra donc un remplacement beaucoup plus important avant d'atteindre le niveau de la démolition.

Quant aux demandes en énergie, on remarque qu'on est déjà très proche de la valeur obtenue pour la démolition. L'augmentation est de l'ordre de 5%.

Bien évidemment, si le procédé de rénovation avec utilisation de poutrelles métalliques et colonnes en béton armés n'avait pas été choisi, on atteindrait pour la demande en énergie une valeur correspondant à 15.513.139 MJ, ce qui laisse encore de la marge avant d'atteindre le même niveau que celui de la démolition.

Pour le cas de la rénovation, on remarque que dès que le remplacement des matériaux s'élève à 20%, la demande en énergie devient plus importante que pour le cas de la démolition puisque l'on atteint les 17.671.287 MJ. En ce qui concerne le potentiel de réchauffement global, la valeur reste toujours inférieure au cas de démolition puisqu'on atteint les 203.921 Kg équivalent CO₂.

Il est donc important de souligner ici que selon le pourcentage de conservation des parois existantes, la rénovation demeure le cas le plus favorable à envisager en terme de potentiel de réchauffement global et de demandes en énergie.

Bien évidemment, pour le procédé de rénovation choisi dans mon étude à savoir, le CPAS de Forest, la demande en énergie atteindra vite un niveau comparable à celui obtenu pour la démolition, avec un faible pourcentage de remplacement des parois, de l'ordre de 10 à 20%.

Une autre analyse paramétrique peut être menée en considérant le fait d'un meilleur « design » pour le cas de la reconstruction du bâtiment neuf après démolition.

Pour ce cas de figure, je me suis référée aux plans réalisés dans le cadre de la rénovation tout en y apportant quelques modifications de manière à rester la plus cohérente possible telles que, les compositions de parois.

Il est évident que dans la construction neuve quelques simplicités sont apportées comme, par exemple, le sens de portée et bien d'autres choses encore. On peut donc considérer, que la construction du bâtiment neuf après démolition engendrera un besoin en matériau inférieur à ce que l'on a prévu initialement. Le cas de la rénovation ne sera donc pas modifié du cas initial. Je considère donc ici une diminution de 10% de la quantité totale des matériaux nécessaire à la construction du bâtiment neuf.

Potentiel de réchauffement global, PRG: nouvelles parois

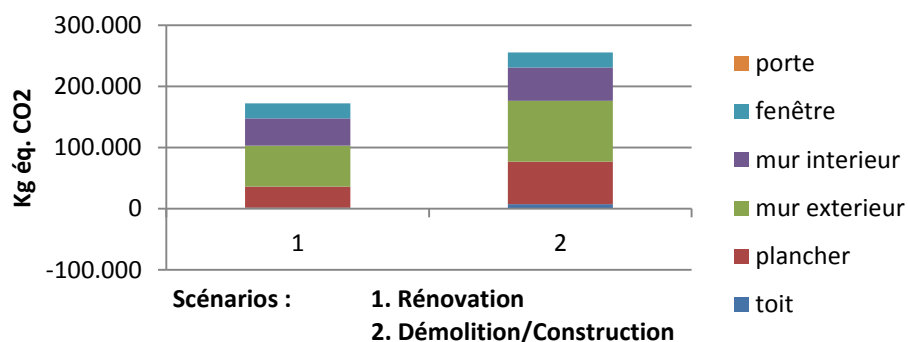


Figure 67 : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment en diminuant de 10% la quantité de matériaux nécessaires à la construction du bâtiment neuf après démolition

Demandes en énergie: nouvelles parois

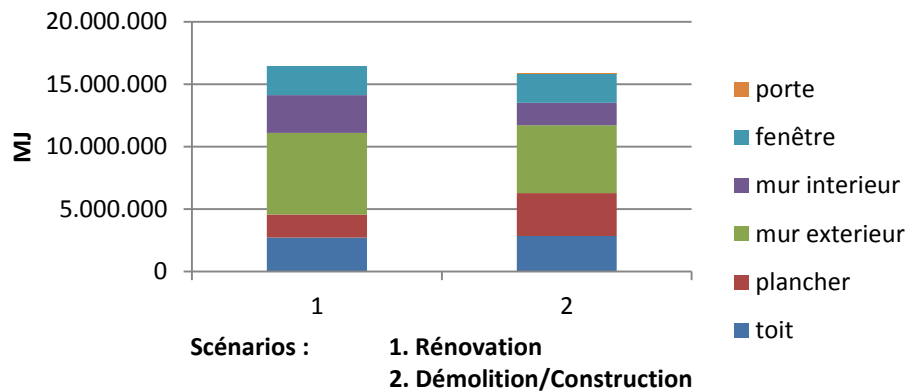


Figure 68 : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en diminuant de 10% la quantité de matériaux nécessaires à la construction du bâtiment neuf après démolition

Ainsi, en ce qui concerne le potentiel de réchauffement global la rénovation reste la plus favorable des deux scénarios considérés. Par contre, pour la demande en énergie on remarque que ce facteur peut influencer fortement les résultats en faveur de la démolition.

De manière générale je peux conclure en précisant que,

1. du point de vue du potentiel de réchauffement global, la rénovation sera toujours le scénario le plus favorable par rapport à la démolition.
2. Quant à la demande en énergie, le résultat pourra très vite évoluer en faveur de la démolition.
3. Néanmoins, les variations constatées ne permettent pas d'avoir une marge importante entre ces deux scénarios.

Regardons maintenant, une à une, les différentes phases étudiées tout au long de ce travail. Commençons chronologiquement, à partir de la phase de démolition partielle ou totale du bâtiment.

Tout chantier demande une main d'œuvre quotidienne sur place. Dès la conception du projet, les modalités de transport des ouvriers devront, donc, faire l'objet d'une réflexion globale judicieuse.

Le transport des ouvriers étant proportionnel au nombre de jours ouvrés sur chantier, le potentiel de réchauffement global ainsi que la demande d'énergie relatifs à cette phase peuvent être considérés comme négligeables lorsque la durée du chantier ne s'élève qu'à quelques jours comme on peut le voir sur le graphique en phase 1.

Par contre, pour un chantier plus conséquent comme celui de la reconstruction ou la rénovation proprement dit, où le nombre de jours est multiplié par un facteur 10 les valeurs deviennent beaucoup plus importantes (voir la phase numéro 2).

Le fait d'avoir en rénovation un nombre plus important d'ouvriers en même temps, n'a un impact plus significatif sur l'environnement que dans le cas de la démolition, où le personnel ouvrier est restreint.

Cela vient évidemment du fait qu'un ouvrier ne se déplace pas seul puisqu'une camionnette sera mise à disposition d'une équipe. Il est donc évident qu'il y aura moins d'impacts pour le transport de 6 ouvriers pendant 10 jours que pour celui de 2 ouvriers pendant 30 jours. .

Potentiel de réchauffement global, PRG: Transports des hommes

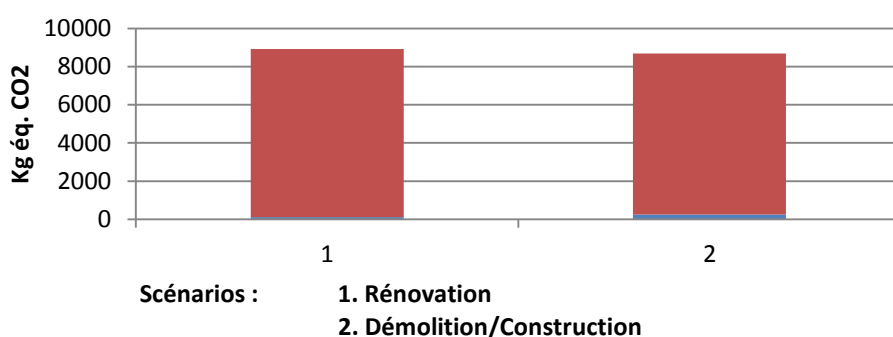


Figure 69 : Potentiel de réchauffement global du au transport des ouvriers sur chantier avec la phase 1 : phase de démolition partielle ou totale et la phase 2 : phase de rénovation ou reconstruction

Demandes en énergie: Transports des hommes



Figure 70 : Demandes d'énergie due au transport des ouvriers sur chantier avec la phase 1 : phase de démolition partielle ou totale et la phase 2 : phase de rénovation ou reconstruction

Cependant celles-ci restent considérablement faibles par rapport aux taux d'émissions et demandes d'énergie qu'implique un chantier dans sa globalité.

Outre la phase de transport des ouvriers nécessaire au bon déroulement du chantier, attardons-nous maintenant sur le fonctionnement des différents engins destinés à celui-ci.

Quel que soit le résultat final du chantier (bâtiment neuf/rénové), on devra faire face dès le départ à une démolition soit totale, soit partielle. Les résultats obtenus sont en fonction du tonnage des différents matériaux, ce qui permet d'avoir une répartition de l'utilisation des engins en fonction de ceux-ci.

Potentiel de réchauffement global, PRG:

Fonctionnement des engins

phase 1: démolition;

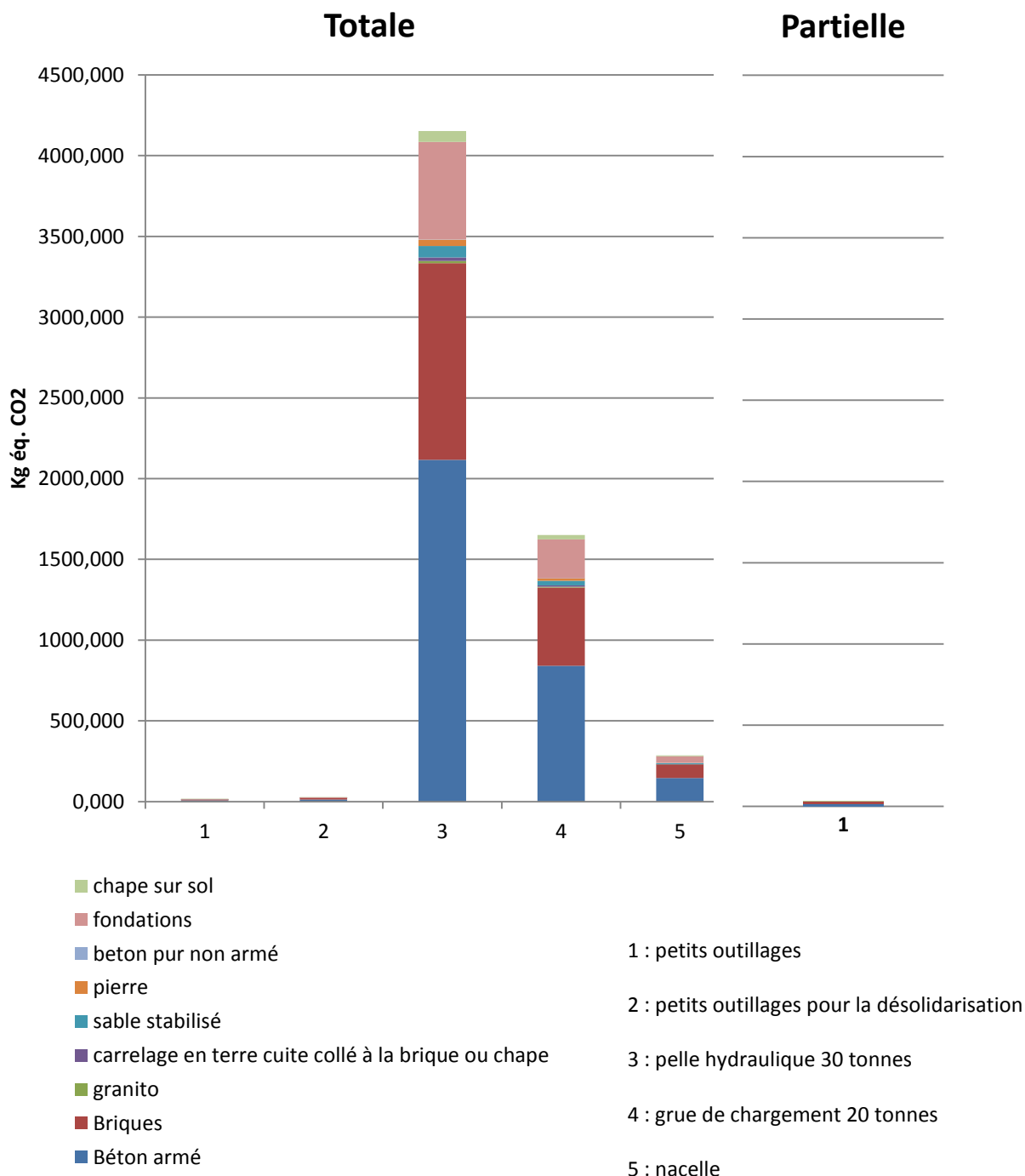


Figure 71 : Potentiel de réchauffement global du au fonctionnement des engins pendant la démolition

Demandes en énergie, DCE: Fonctionnement des engins phase 1: démolition;

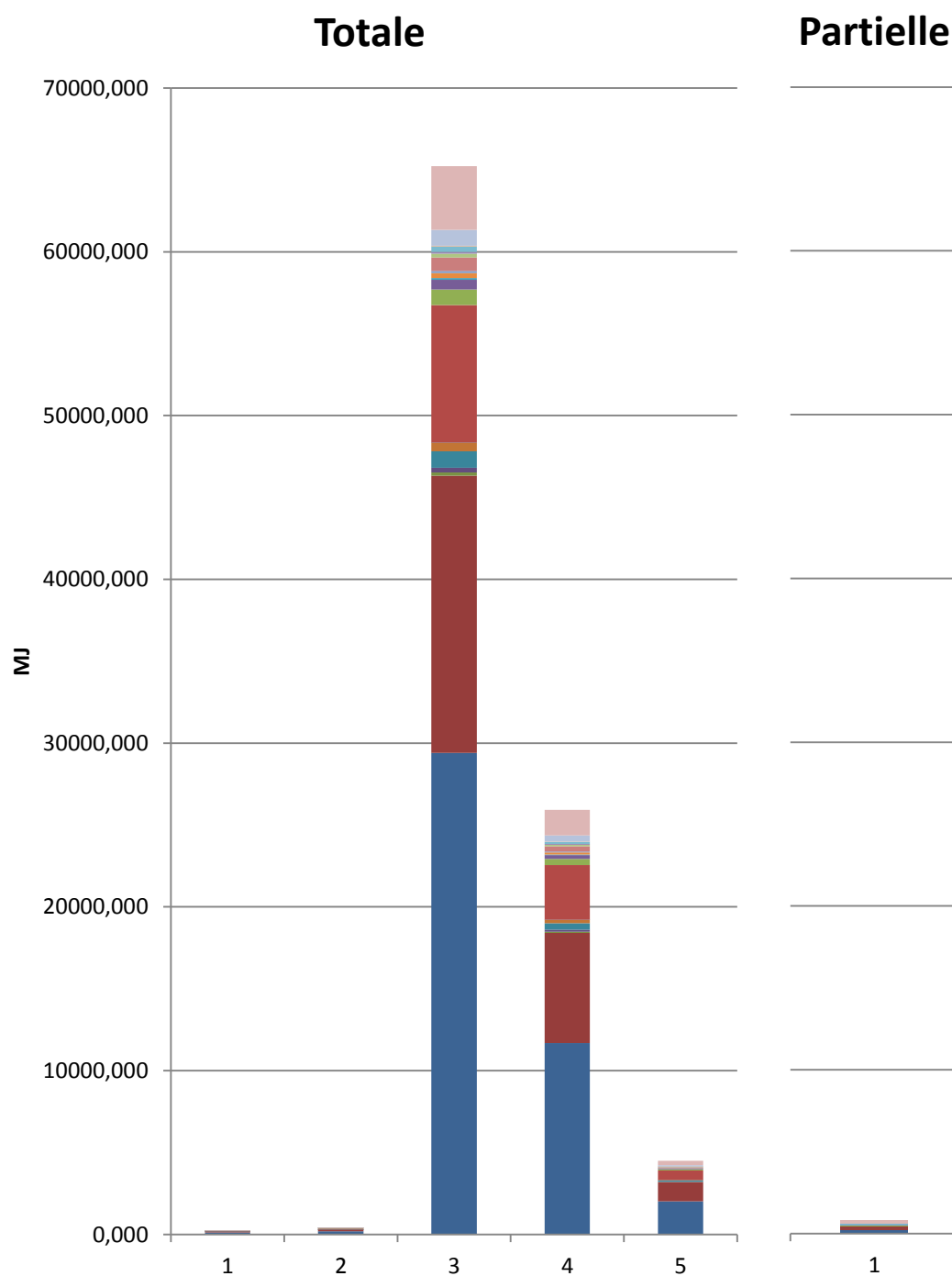


Figure 72 : Demandes en énergie due au fonctionnement des engins pendant la démolition.

Pour mon cas d'étude, la phase de fonctionnement des engins (bien que son étude fut utile), reste peu significative par rapport à l'Analyse globale du Cycle de Vie (ACV). On relève, toutefois à ce sujet, une différence importante entre le fait de rénover ou de démolir un bâtiment. Notamment, en fonction du besoin d'engins, de machines de gabarit, ... terriblement important dans le cadre de la démolition totale par rapport à une démolition partielle ne nécessitant que des petits outillages, aussi variés soient-ils.

Suivant la chronologie du chantier, on sait également que toute démolition réalisée (totale ou partielle), demande une évacuation importante de déchets, il y a donc lieu de vérifier le potentiel de réchauffement global ainsi que les demandes en énergie liées au transport par camion des différents déchets vers leurs centres respectifs correspondant à leur fin de vie. Logiquement, une démolition totale engendre beaucoup plus de déchets qu'une démolition partielle et entraîne de ce fait, une demande de transport beaucoup plus importante. Ceci entraîne, comme nous pouvons le visualiser sur les graphiques suivants, une augmentation du potentiel de réchauffement global et de demande d'énergie pour la démolition totale (cfr les graphiques suivants).

| Tonnage des déchets à évacuer | |
|--------------------------------------|--------------------------|
| Démolition partielle | Démolition totale |
| 383.44 | 1750.84 |

Afin d'analyser au mieux mes résultats, je souhaite commencer, par l'analyse du transport, via la base de données EcoInvent. Le transport vers le centre d'enfouissement technique, CET, est considéré au minimum à 10% du tonnage des déchets tandis que le transport vers le centre de recyclage correspond à 90% de ce dernier.

Effectivement, comme décrit auparavant, le transport des déchets vers les différents CET doit être revu à la baisse. Plus la distance séparant le chantier du centre de recyclage est importante, plus les impacts afférents au transport augmentent (d'où l'intérêt primordial, de vérifier que le fait de conduire les déchets vers les centres de recyclage n'engendrera pas un impact plus important que si cela n'était pas fait. (Cfr. les impacts sur la santé des personnes et sur l'environnement).

Potentiel de réchauffement global, PRG:

Transports des déchets

Démolition;

Totale

Partielle

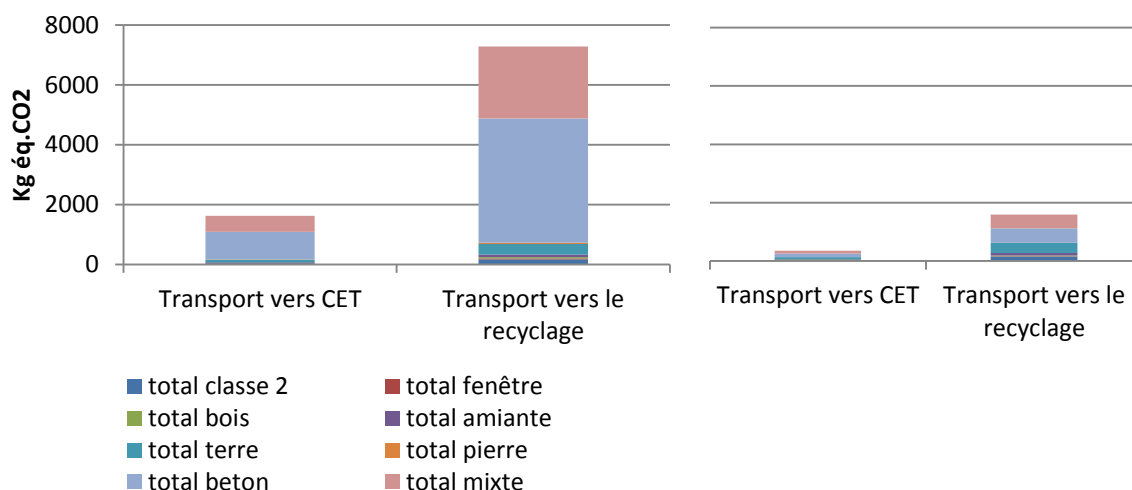


Figure 73 : Potentiel de réchauffement global du à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données EcolInvent

Demande en énergie:

Transports des déchets

Démolition;

Totale

Partielle

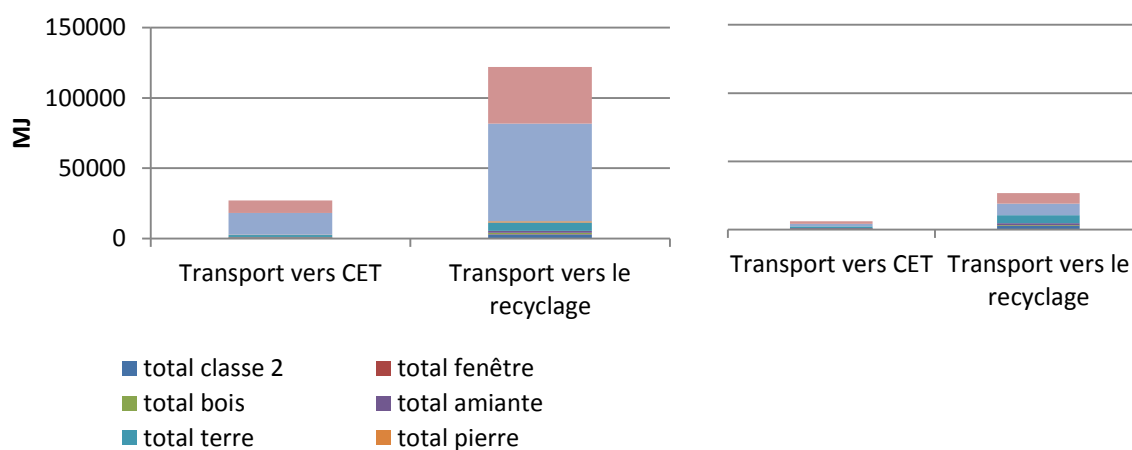


Figure 74 : Demandes en énergie dues à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données EcolInvent

Quant à l'évacuation des déchets, en effectuant la même analyse, sur base cette fois du type de transport à utiliser et en me référant aux différentes fiches techniques provenant du fournisseur (on abandonne la base de données EcoInvent). Il me faut prévoir des camions de 17 tonnes, 2X10 tonnes et 30 tonnes. Ceci représente en quelque sorte une nouvelle base de données. Ainsi j'obtiens une valeur de 0,0611 Kg CO₂/T/Km au lieu de 0,9 MJ/T/Km pour la base de données EcoInvent. De la même manière, on retrouve une donnée inférieure pour la demande en énergie.

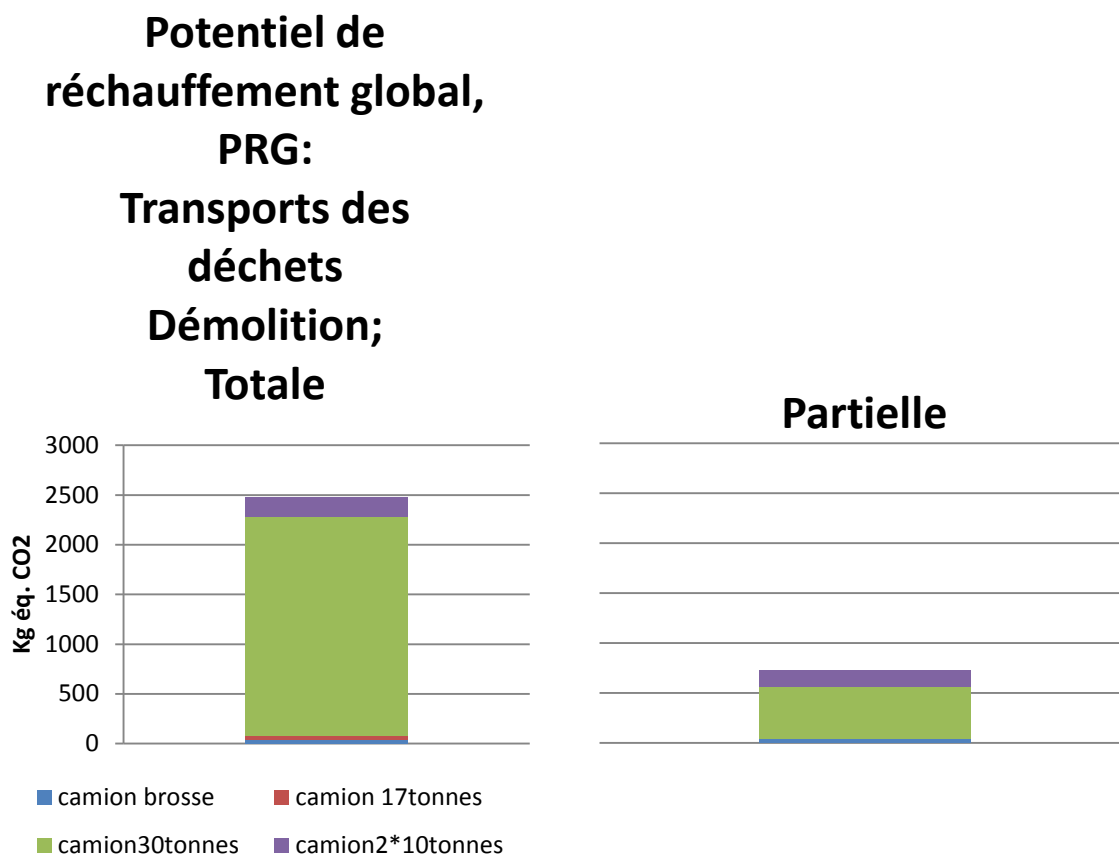
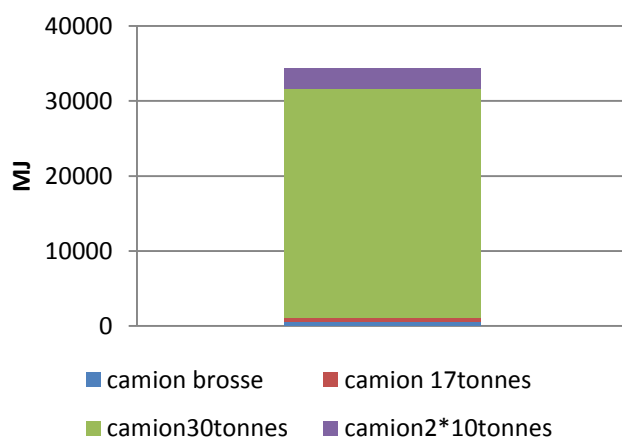


Figure 75 : Potentiel de réchauffement global du à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données provenant des fiches techniques du fournisseur

Demande en énergie, DCE: Transports des déchets Démolition; Totale



Partielle

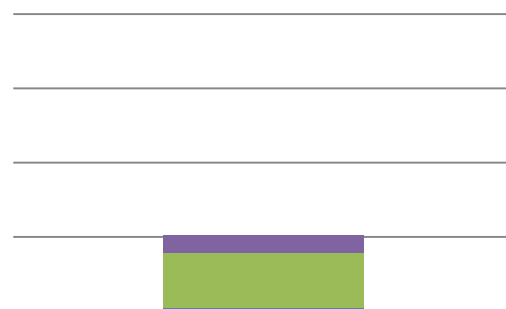


Figure 76 : Demandes en énergie dues à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données provenant des fiches techniques du fournisseur

Regardons maintenant les résultats que l'on obtient en ce qui concerne le traitement des déchets :

En premier lieu, examinons les résultats obtenus suite à l'analyse réalisée en fonction de la base de données EcoInvent. Pour cette dernière, j'envisage le recyclage de tous les matériaux quels que soit leur nature à l'exception de l'amiante.

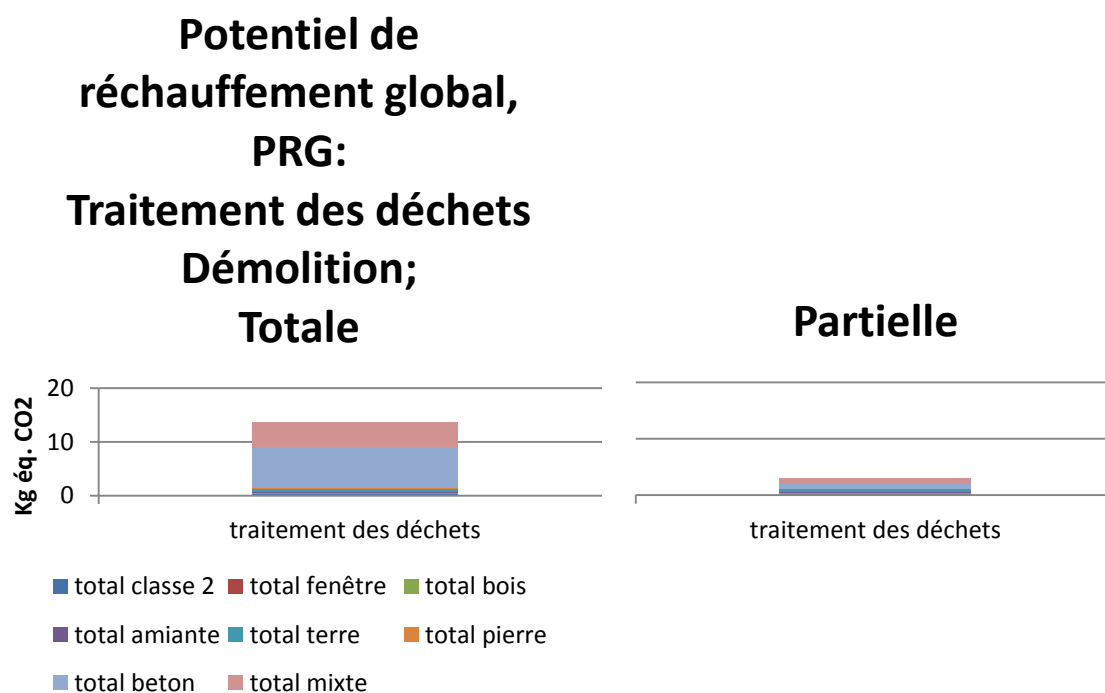


Figure 77 : Potentiel de réchauffement global du aux traitements des déchets, base de données EcoInvent

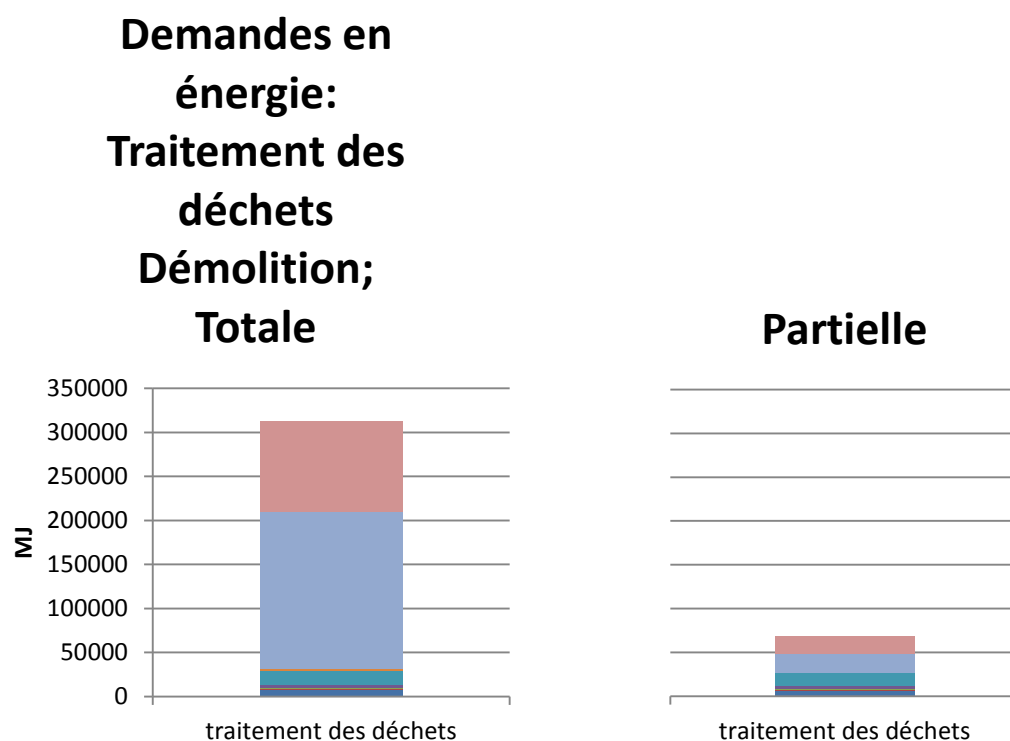


Figure 78 : Demandes en énergie dues aux traitements des déchets, base de données EcoInvent

Une autre analyse portant sur la même phase est réalisée, en prenant en compte le recyclage pour seulement quatre matériaux principaux qui sont l'acier, le béton, le bois et le verre. Dans celle-ci, je considère les consommations des différentes installations nécessaires aux recyclages des différents matériaux cités ci-dessus. (Cfr. Chapitre 3.2.1.2.)

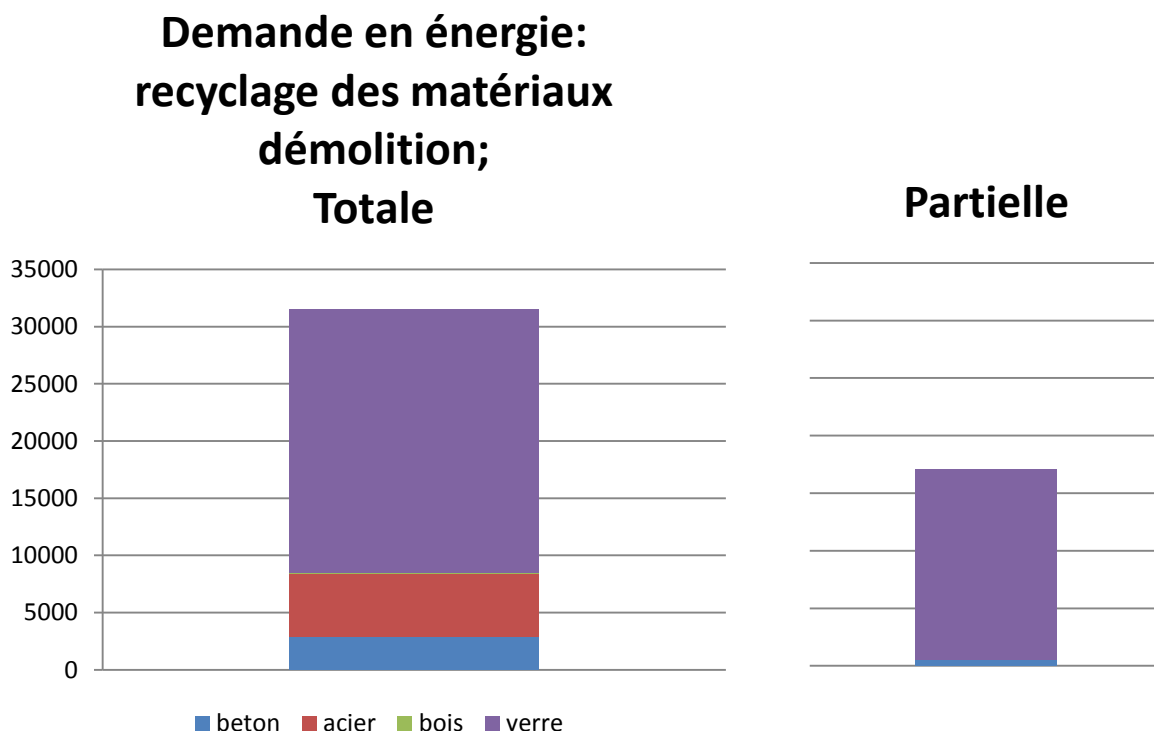


Figure 79 : Demandes en énergie dues au recyclage des déchets

Au vu des données utilisées dans ces deux analyses, ces dernières ne permettent pas une comparaison précise puisque pour rappel, les matériaux considérés pour le traitement des déchets diffèrent d'une analyse à l'autre. Mais au vu des résultats, la deuxième analyse provoquera plus de conséquences sur l'environnement que la première fondée sur la base de données EcolInvent.

La phase d'extraction/fabrication des nouveaux matériaux étant déjà étudiée précédemment, je ne m'étendrais pas sur ce point, hormis pour un détail. En effet il est intéressant de s'attarder un moment, sur la comparaison des impacts entre deux matériaux de nature totalement différente. Pour se faire, il n'est plus intéressant de vérifier les résultats en fonction des différentes parois mais plutôt en fonction du tonnage des matériaux.

On remarque ainsi, dans le cas de la démolition/Reconstruction, que le tonnage du EPS est très faible mais qu'il est très impactant sur l'environnement puisqu'il émet plus du tiers des émissions des blocs de béton alors que son tonnage est quasi 100 fois moins élevé que celui des blocs de béton (25.912Kg eq. CO2 EPS-63.045 Kg eq. CO2 bloc de béton).

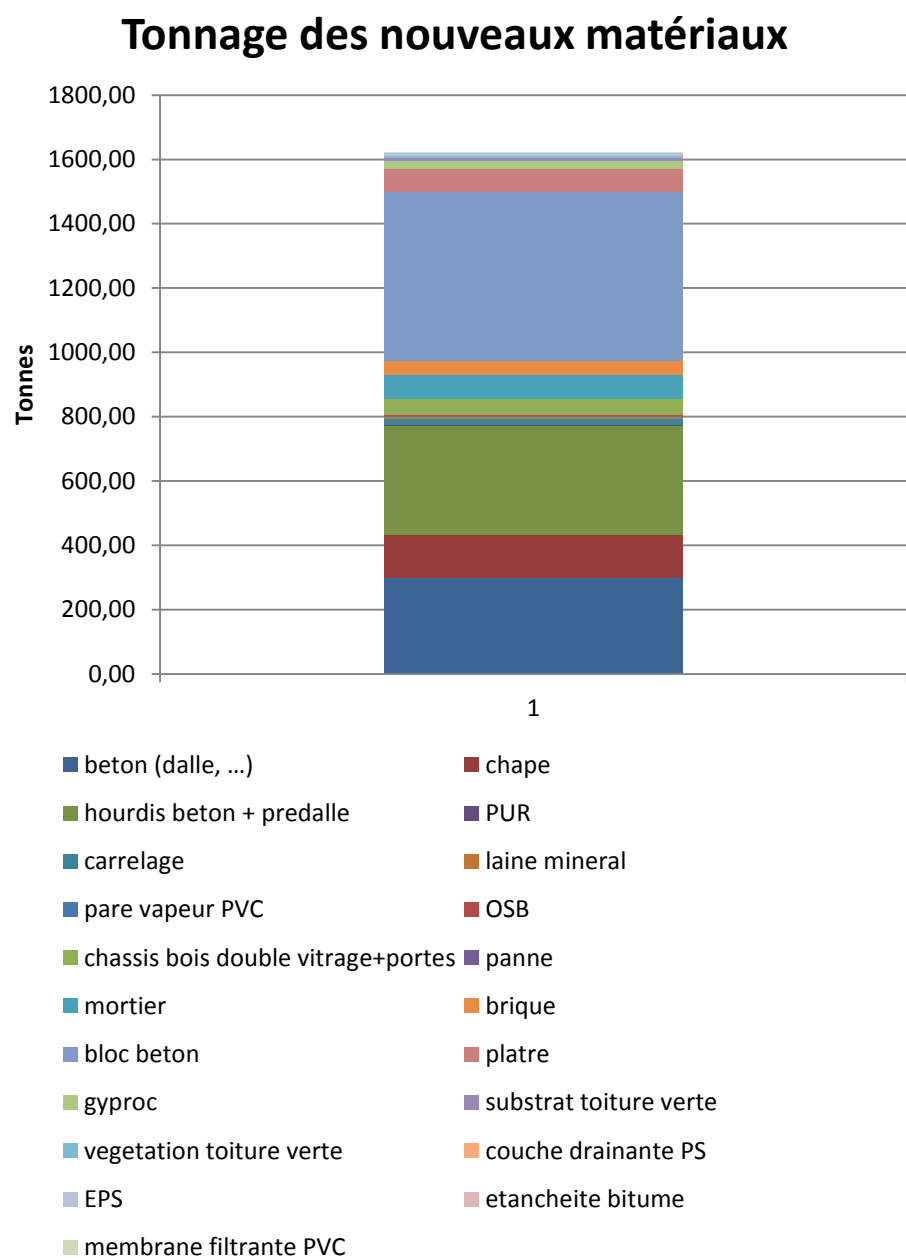


Figure 80 : Tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf dans le cas de la démolition/reconstruction

Potentiel de réchauffement global, PRG: Extraction/fabrication des nouveaux matériaux

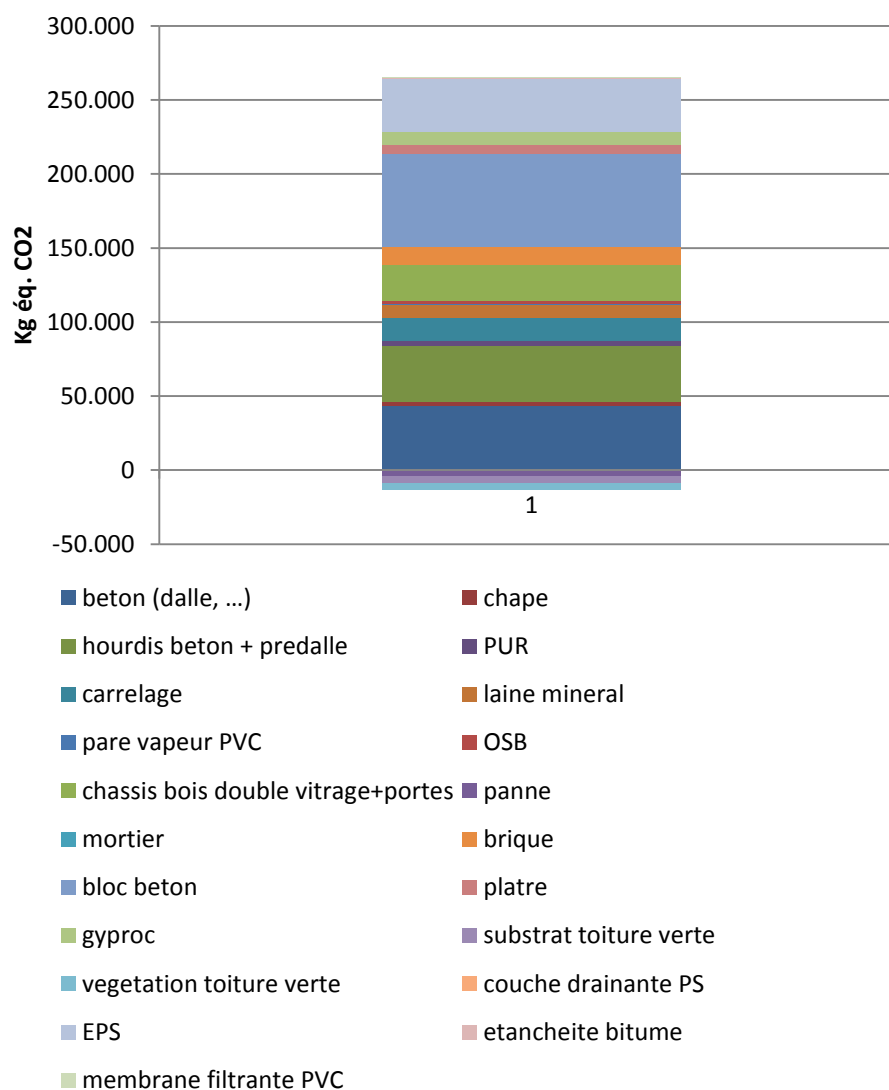


Figure 81 : Potentiel de réchauffement global du à l'extraction/fabrication selon le tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf

Demandes en énergie, DCE: Extraction/fabrication des nouveaux matériaux

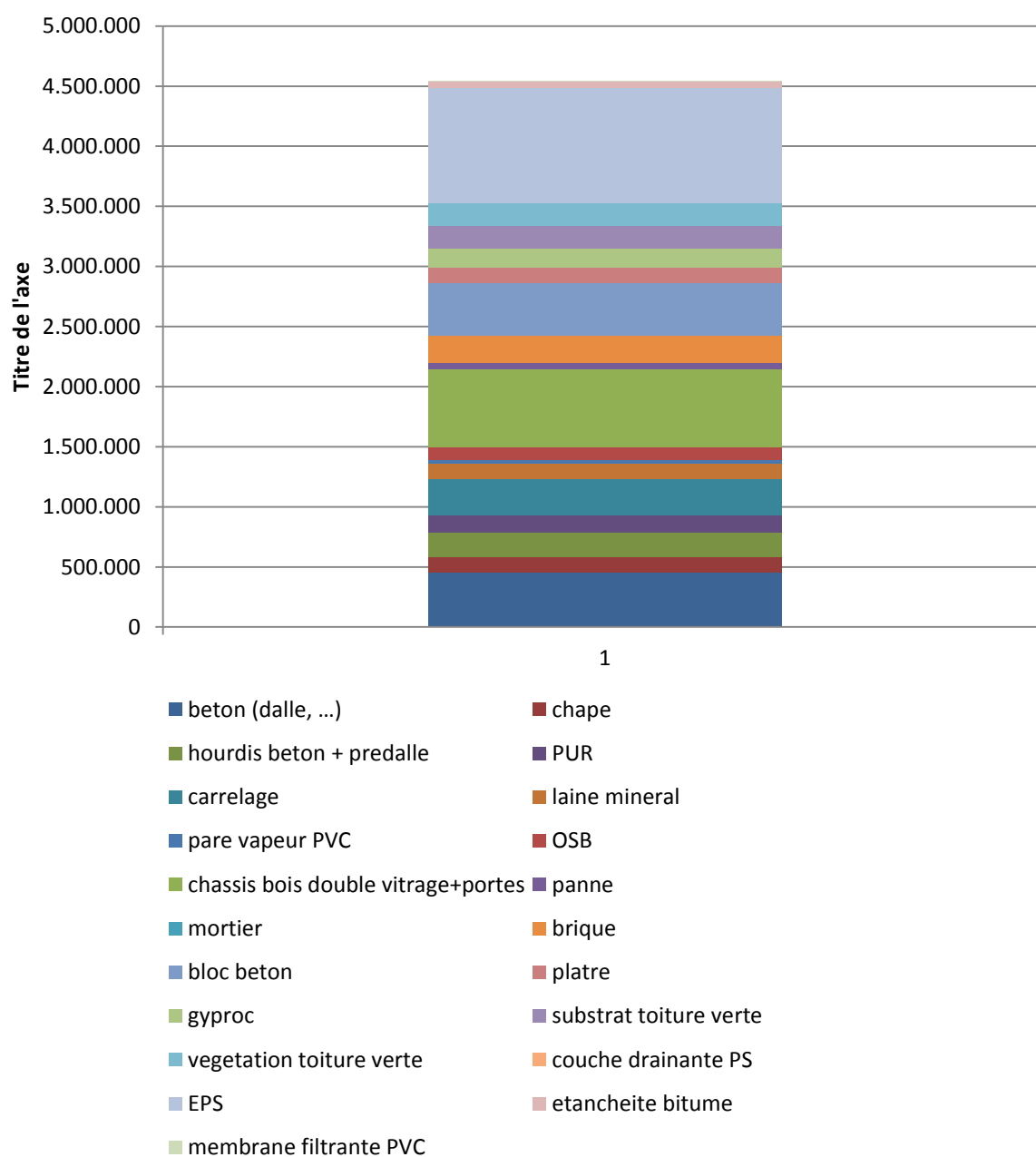


Figure 82 : Demandes en énergie dues à l'extraction/fabrication selon le tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf

La phase suivante considère que, les matériaux disponibles en usine doivent être transportés jusqu'à l'endroit du chantier (cfr. la méthode de calcul vue précédemment : trajet de l'usine vers le dépôt et ensuite, vers les différents sites de construction)

Remarques : ce parcours comprend à la fois les matériaux du chantier concerné mais également ceux nécessaires à d'autres.

Afin d'estimer les impacts réels provenant du tonnage des matériaux utilisés uniquement pour le nôtre, je dois calculer un certain pourcentage. Mon analyse portera donc sur la comparaison entre trois graphes reprenant le transport des matériaux alimentant :

- a. plusieurs chantiers (1) ;
- b. mon chantier (2) ;

Ces deux transports dépendent des différentes fiches techniques afférentes aux camions de transport provenant du fournisseur ;

- c. mon chantier en fonction de la base de données EcolInvent (3).

Potentiel de réchauffement global, PRG: Transports des nouveaux matériaux en construction neuve

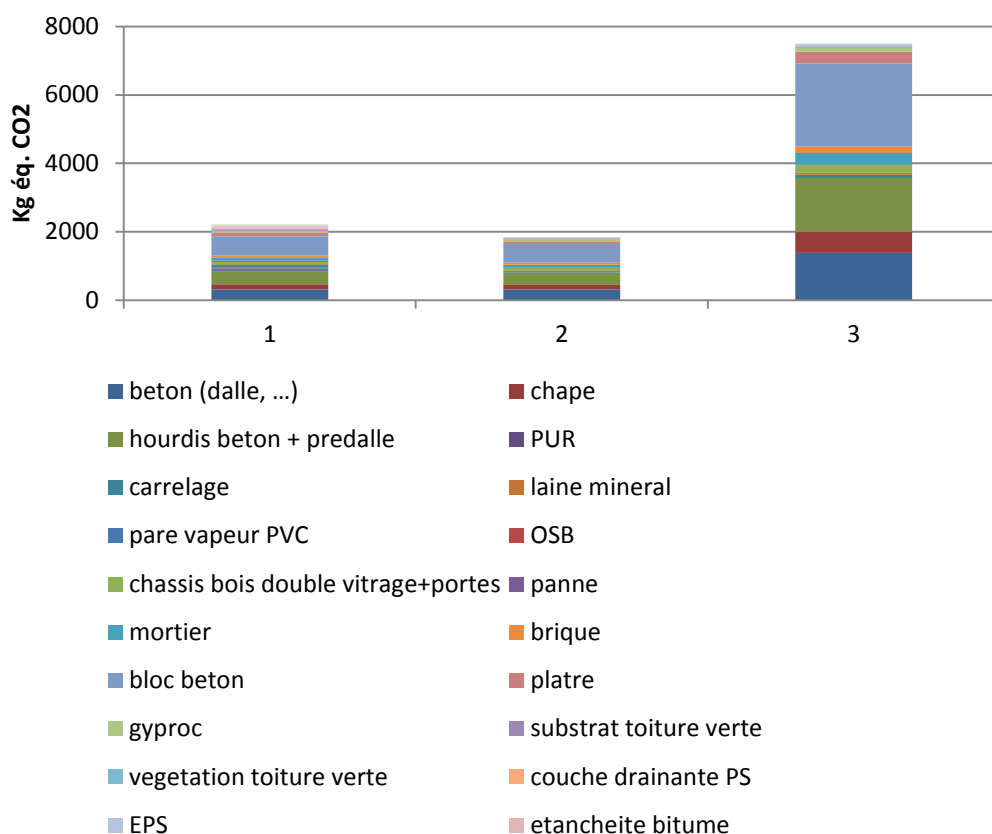


Figure 83 : Potentiel de réchauffement global du aux transports des nouveaux matériaux pour le bâtiment neuf

Demandes en énergie, DCE: Transports des nouveaux matériaux en construction neuve

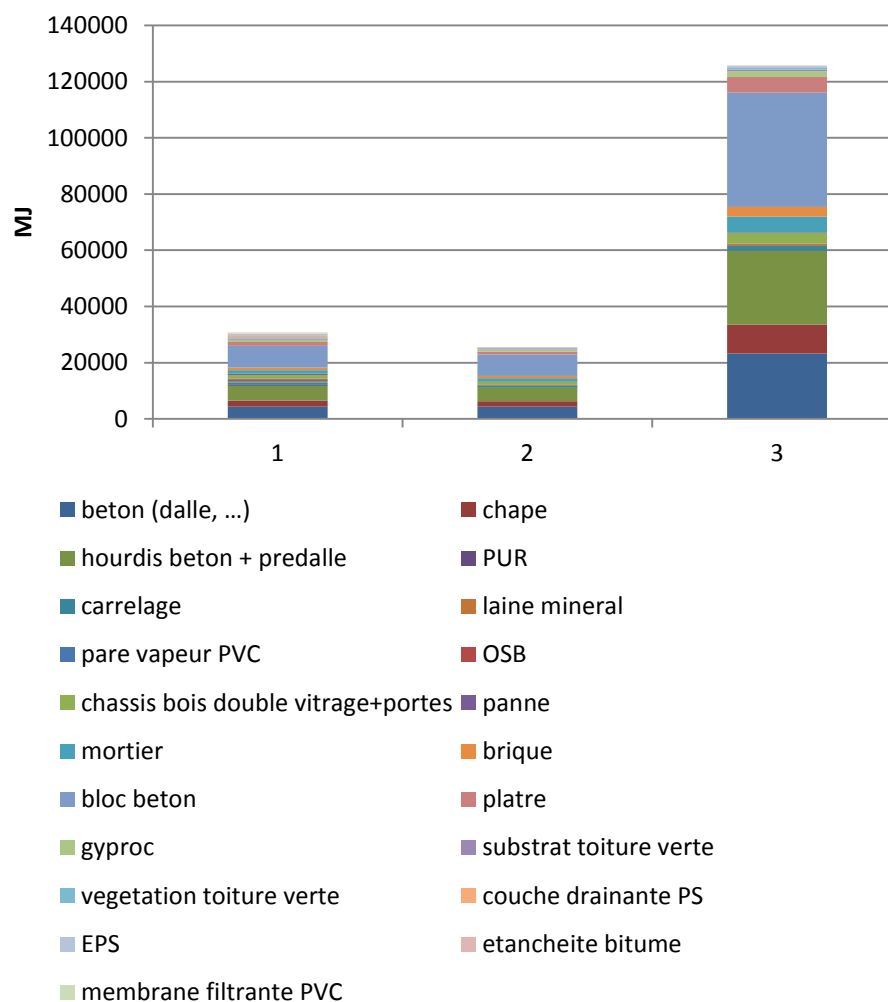


Figure 84 : Demandes en énergie dues aux transports des nouveaux matériaux pour le bâtiment neuf

Potentiel de réchauffement global, PRG: Transports des nouveaux matériaux en rénovation

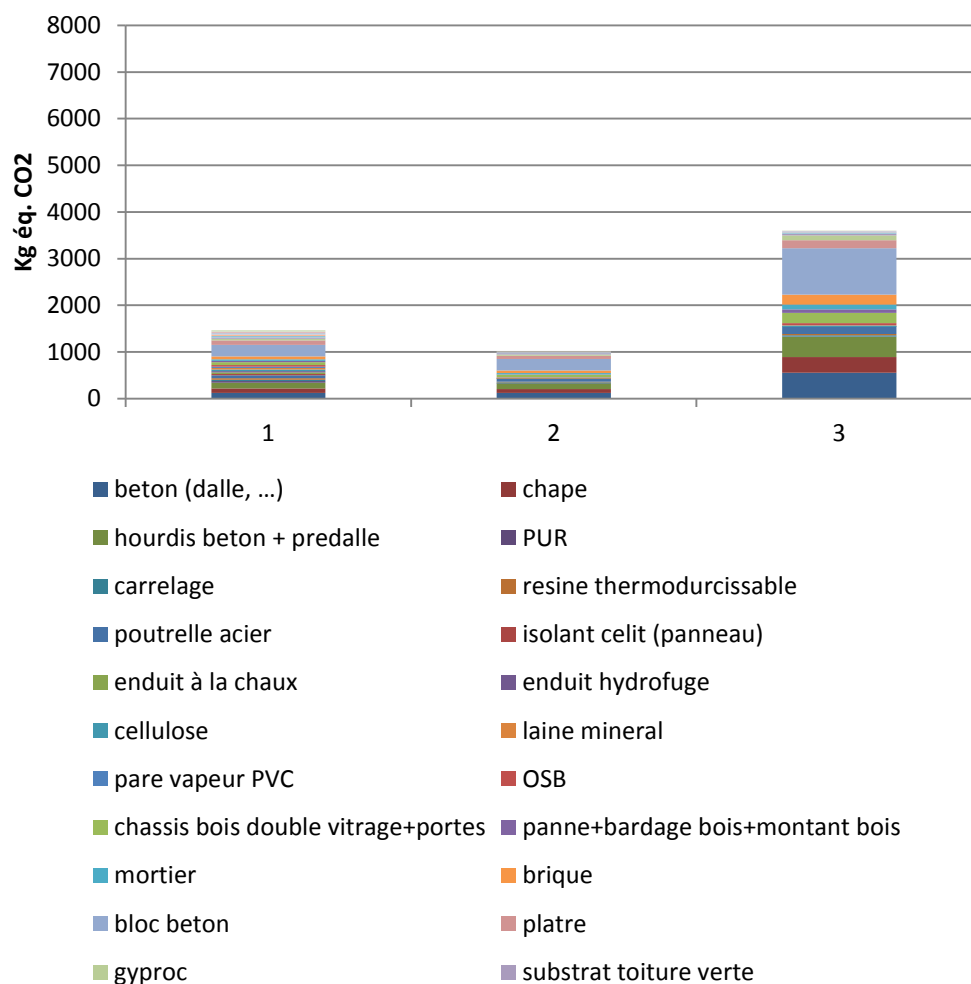


Figure 85 : Potentiel de réchauffement global du aux transports des nouveaux matériaux pour la rénovation

Demandes en énergie, DCE: Transports des nouveaux matériaux en rénovation

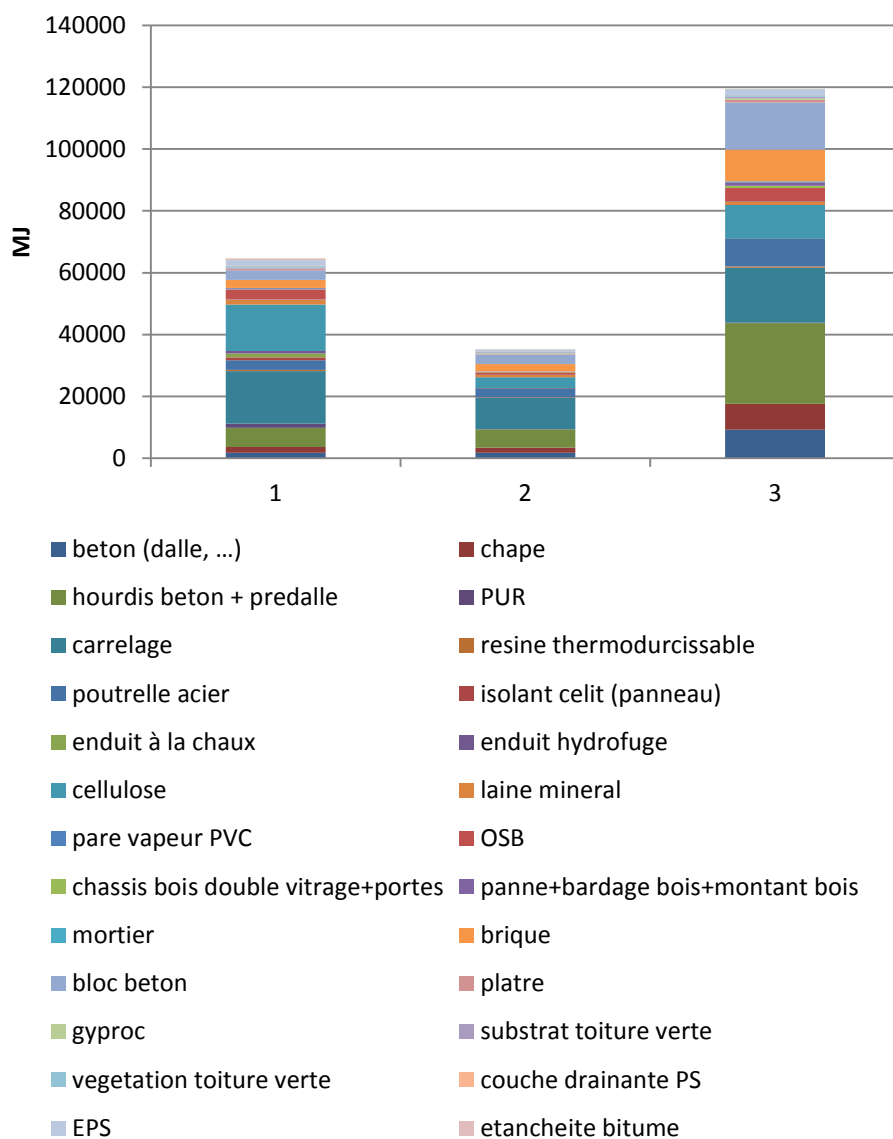


Figure 86 : Demandes en énergie dues aux transports des nouveaux matériaux pour la rénovation

On remarque assez clairement que les résultats obtenus par la base de données Ecolnvent sont beaucoup plus importants que ceux obtenus sur base des fiches techniques des camions de transport. Si on se réfère au dernier graphe ci-dessus, on peut voir que la valeur donnée par Ecolnvent quant aux demandes en énergie est quasi 2 fois plus importante que celle se basant sur la fiche technique du véhicule, en considérant que le poids transporté de matériau peut alimenter d'autres chantiers. Il y a donc lieu de se demander quelle est la valeur de la base de données qu'il faut utiliser pour avoir une analyse approchée de la réalité. Doit-on effectuer une moyenne des deux données afin de contrer les imprécisions des deux ?

La dernière phase est, avec celle de l'extraction/ fabrication des matériaux **la plus importante**, puisqu'elles interviennent toutes les deux de façon non négligeable par rapport aux impacts généraux.

Celle-ci concerne la phase de fonctionnement des engins pendant le chantier de rénovation ou reconstruction.

On remarque, aussi bien pour le bâtiment neuf que pour la rénovation, une utilisation de deux engins principalement qui sont le petit outillage(1) et la grue tour de 30 tonnes (2). Même si le même « outillage » est utilisé sur les deux chantiers, la durée d'utilisation diffère assez bien (Cfr. Tableau 14) On remarque ainsi que ce soit pour le taux de potentiel de réchauffement global ou pour la demande en énergie, une valeur moins élevée pour l'utilisation du petit outillage dans le cas de la construction du bâtiment neuf par rapport à la rénovation. Par contre, en ce qui concerne l'utilisation de la grue tour, l'impact sera plus important dans la construction du nouveau bâtiment par rapport à la rénovation.

Potentiel de réchauffement global, PRG: Fonctionnements des engins phase 2 Construction du bâtiment neuf

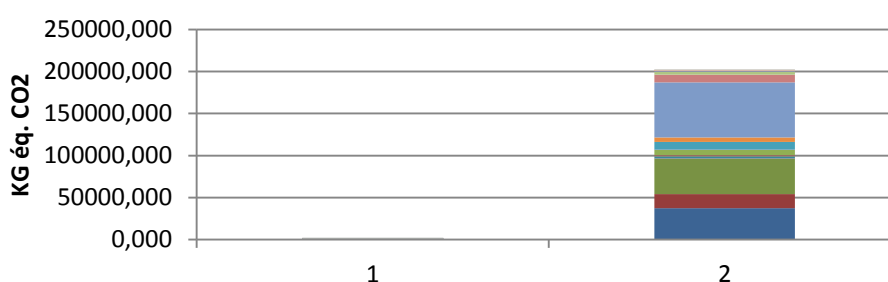


Figure 87 : Potentiel de réchauffement global du au fonctionnement des engins pour le bâtiment neuf

**Potentiel de réchauffement global,
PRG:
Fonctionnement des engins phase 2
Rénovation**

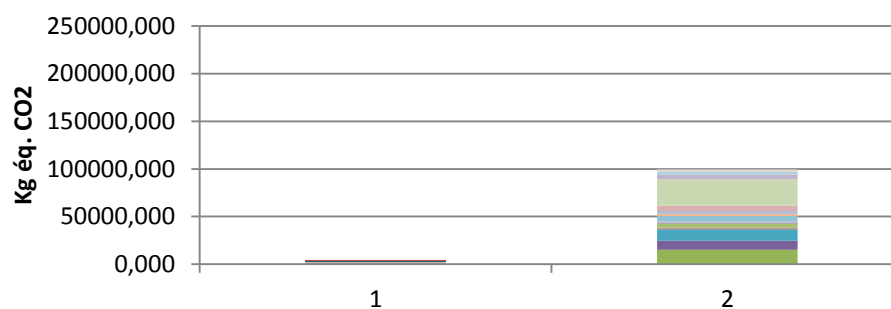


Figure 88 : Potentiel de réchauffement global du au fonctionnement des engins pour la rénovation

**Demandes en énergie:
Fonctionnements des engins phase
2
Construction du bâtiment neuf**

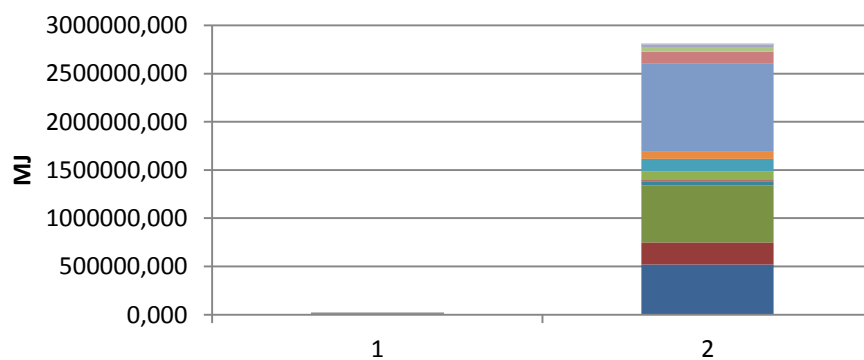


Figure 89 : Demandes en énergie dues au fonctionnement des engins pour le bâtiment neuf

Demandes en énergie: Fonctionnement des engins phase 2 Rénovation

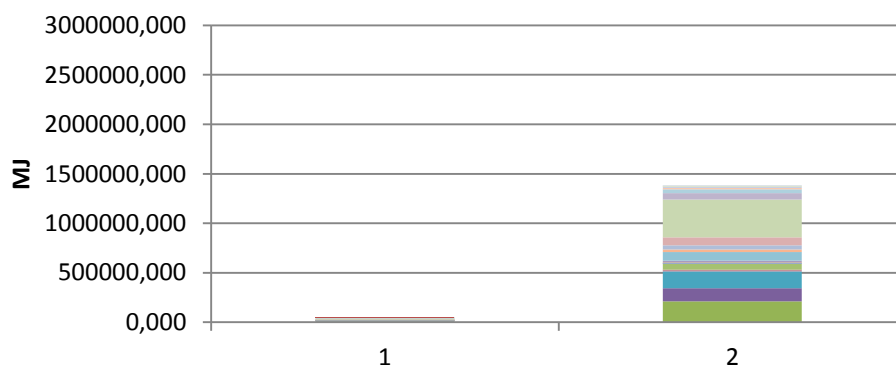


Figure 90 : Demandes en énergie dues au fonctionnement des engins pour la rénovation

Un dernier point doit être abordé : celui du transport des déchets dus au chantier de la phase 2. En (1) on retrouve les valeurs correspondantes au transport des déchets selon les fiches techniques des camions, en (2) selon la base de données Ecolinvent.

Potentiel de réchauffement global, PRG: Transport des déchets Construction du bâtiment neuf

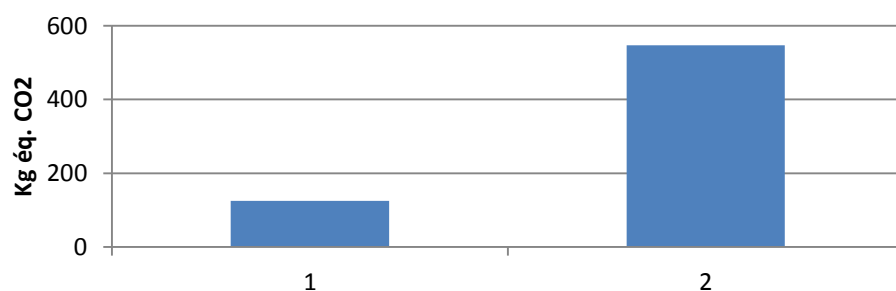


Figure 91 : Potentiel de réchauffement global du au transport des déchets pour le bâtiment neuf

**Potentiel de réchauffement global,
PRG:
Transport des déchets
Rénovation**

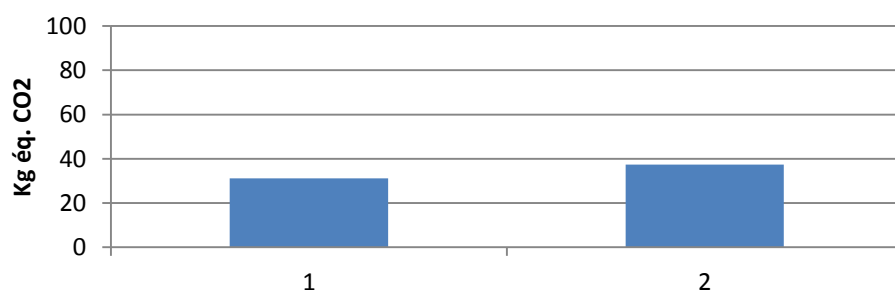


Figure 92 : Potentiel de réchauffement global du au transport des déchets pour la rénovation

La conclusion de cette dernière phase est très logique, puisque le tonnage de déchets (emballage, palette de bois...) sera plus important pour la construction neuve que pour la rénovation.

5.2. COMPARAISON ECONOMIQUE

Une étude comparative du bilan économique me permet d'avoir une idée globale sur le prix qu'engendrent les deux solutions. La rénovation des bureaux de Forest est la solution qui je le rappelle fut celle choisie, sans avoir fait l'objet d'une pareille étude puisque l'objectif principal était la conservation du caractère existant tout en voulant prouver qu'il était possible d'arriver à des résultats sur la performance énergétique de l'ordre quasi du passif, ceci concernant bien évidemment la phase d'utilisation du bâtiment, sans pour autant regarder au niveau du cycle de vie de ce dernier. Les chiffres obtenus pour la rénovation m'ont été confiés par le bureau A2M, et s'élèvent à 1.575€/m² hors TVA, les primes n'étant pas incluses, ce qui correspond pour le bâtiment à 1.626.817,5€ toujours hors TVA et primes non incluses. Après discussion auprès de Madame Willem, j'ai pu obtenir le montant des primes qui s'élève à 125.717€, ce dernier comprend la prime de bâtiment exemplaire (85.410 €) ainsi que celle du bâtiment tertiaire basse énergie (40.307 €). En ce qui concerne le nouveau bâtiment, le prix hors TVA d'un immeuble de bureaux s'élève à 1000€/m² ce qui représente 1.032.500 € (bien évidemment, il existe aussi pour la reconstruction basse énergie des primes qu'il y a lieu de déduire du prix affiché afin d'obtenir le prix réel, auquel il faut encore ajouter le prix de la démolition. Ce dernier est obtenu par un métré détaillé qui dépend du tonnage des divers matériaux ainsi que des différents engins utilisés. Ainsi le prix total, hors TVA, pour la démolition du bâtiment existant, s'élève à 66.434€. Ce prix est assez élevé puisqu'il comprend le prix de versage de déchets pour le tarif en vigueur de cette année (voir annexe 10). Il est évident que pour obtenir le marché face à la concurrence, les prix seront revus à la baisse. [Durigneux.2012] Pour la comparaison, il sera tout de même intéressant de prendre le prix réel qui s'applique à la tarification prévue. En ce qui concerne la TVA pour le bâtiment étudié, que ce soit en rénovation ou en démolition/reconstruction, celle-ci s'élève à 21% puisque le bâtiment concerné fait partie du secteur professionnel.

Connaissant maintenant les différents prix quant à la rénovation et la démolition/reconstruction, je réalise un tableau qui permet de visualiser directement laquelle des deux solutions reste la plus économique.

| | Rénovation | Démolition/reconstruction |
|----------------------------|------------|---|
| Prix hors TVA, hors primes | 1.626.817€ | 1.098.934€ (détail des prix voir annexe 10) |
| Primes incluses | 1.501.100€ | |

On déduit assez facilement que la solution de la démolition/reconstruction reste sur un plan économique la meilleure. Il est toutefois important de rappeler que la rénovation du cas d'étude utilise un processus de rénovation énergétique très poussée mais qui est nettement plus coûteux que ne le serait une rénovation plus courante, jusqu'au niveau du standard PEB actuel par exemple.

5.3. COMPARAISON SOCIALE

J'ai réalisé une petite enquête auprès de la population, afin de recueillir l'opinion générale. Cette approche ne doit pas vraiment être considérée comme une étude concrète puisqu'elle est réalisée à petite échelle et de plus, lorsque les gens ne se sentent pas directement concernés, il faut être conscient qu'ils peuvent répondre sans réelle objectivité. Il est tout de même intéressant d'avoir une vue d'ensemble sur le sujet. Voici les questions qui ont été posées :

- 1) Que vous évoque la construction basse énergie ? Quelles sont, à votre avis, les solutions possibles pour atteindre ces objectifs dans le bâtiment ?
- 2) Que pensez-vous de la rénovation du bâtiment ?
- 3) Que pensez-vous de la démolition du bâtiment et de sa reconstruction ?
- 4) Si vous deviez faire un choix entre les deux solutions envisagées ci-dessus qu'en serait-il ? Pourquoi ?
- 5) Si vous étiez un voisin direct du chantier, pensez-vous que la démolition du bâtiment apportera plus de nuisance que sa rénovation ? Si oui pourquoi ?
- 6) Accordez-vous de l'importance au patrimoine bâti ?
- 7) Pensez-vous que la conservation du patrimoine est nécessaire ?
- 8) Si la conservation du patrimoine implique qu'il n'est pas possible d'atteindre de meilleures performances énergétiques, que choisissez-vous ?
- 9) Parfois, la pratique du façadisme est utilisée, c'est à dire démolir complètement le bâtiment mais en conservant la façade existante pour reconstruire quelque chose de totalement neuf derrière. Qu'en pensez-vous ?
- 10) Avez-vous connaissance de ce qu'est une analyse en cycle de vie ?

Lorsque l'on fait le tour des questions auprès de la population, on remarque en premier lieu que c'est le désagrément du chantier qui va être mis en question. En effet, en général, j'ai remarqué que les personnes considèrent qu'une rénovation basse énergie sera beaucoup moins contraignante qu'une démolition suivie d'une reconstruction. Ils avancent l'argument qu'un bâtiment peut devenir à basse consommation énergétique par le simple fait, par exemple, d'ajouter des panneaux solaires. On remarque là une conséquence majeure de la publicité de masse valorisant un seul produit, en ne précisant pas toutes les démarches nécessaires. Le cas de la démolition est donc vu comme impliquant le plus de nuisances que ce soit pour le bruit, les poussières,...

Le fait que la rénovation permet d'agir de façon locale et donc de répartir le coût sur une durée plus longue est également un facteur important auprès de la population, même si ce choix peut se révéler parfois assez contraignant pour le propriétaire qui voit son bâtiment en chantier de manière quasi permanente.

En second lieu, vient le caractère esthétique du bâtiment, que la rénovation permet de conserver du mieux possible. En effet, la rénovation reste une intervention acceptée dans toutes les mœurs car elle permet une conservation du patrimoine bâti, parfois nécessaire pour le rappel des origines culturelles et sociales d'une région.

Un autre aspect important est pourtant peu abordé ou seulement par les acteurs du secteur du bâtiment. La rénovation, en tout cas pour les bâtiments de prestige, fait appel à une main d'œuvre très qualifiée et spécialisée dans des domaines tels que la stabilité ou la restauration d'œuvres d'art. Le domaine de la rénovation est à chaque fois une nouvelle expérience et devant ce challenge, chaque corps de métier doit pouvoir s'adapter à de nouvelles techniques constructives et devra aborder le chantier de la meilleure façon possible. La rénovation génère un marché pour des personnes spécialisées.

6. CONCLUSION.

Le travail m'a permis de comparer quelle est la solution la plus favorable entre rénovation et démolition/reconstruction pour un cas particulier d'immeuble de bureaux qui est le CPAS de Forest en Région Bruxelles-Capital. Cette comparaison a été réalisée de manière approfondie du point de vue environnemental par la réalisation d'une étude d'analyse en cycle de vie des deux scénarios envisagés. Cette étude a nécessité un travail bibliographique et de recherche d'informations important qui a abouti à un état de l'art dans le domaine concerné ainsi qu'au développement d'un outil d'ACV existant, auquel j'ai ajouté plusieurs feuilles de calcul.

Il est évident que chaque cas demande une étude particulière et ne conduira pas forcément au même résultat que dans ce travail présenté ici. C'est dans cette réalité des choses que j'ai voulu compléter l'outil mis à ma disposition en offrant la possibilité à chacun de réaliser la même étude pour un cas comparable au bâtiment présenté ici, dans le cadre de ce travail, sans devoir passer par les nombreuses recherches qui ont été effectuées. Tout bâtiment de maximum quelques niveaux et construit en matériaux traditionnels peut dès lors faire l'objet d'une étude similaire. Dans l'optique du développement durable, les aspects économiques et sociaux sont également fondamentaux. C'est pourquoi une étude de ces critères a été intégrée pour compléter notre comparaison entre la rénovation et la démolition/reconstruction du bâtiment du CPAS de Forest. Toutefois, suite à la quantité de travail nécessaire pour réaliser l'étude environnementale, les aspects économiques et sociaux ont fait l'objet d'une évaluation simplifiée. Dans le cas étudié, les conclusions de ce travail viennent en faveur de la rénovation si les critères environnementaux et sociaux sont choisis par contre, si le facteur économique est favorisé, il est évident que la solution de la démolition suivie de la reconstruction est beaucoup plus intéressante.







| | Rénovation | Démolition/Reconstruction |
|---------------|---|---|
| Environnement |  |  |
| Economie |  |  |
| Social |  |  |

Tableau 27 : Récapitulatif des résultats selon les trois critères de durabilité pour notre cas d'étude.

Au vu du processus de rénovation énergétique utilisé dans ce cas d'étude pour maximiser les gains énergétiques (coupure des planchers en béton associé à un renforcement structurel pour assurer la continuité de l'isolation le long des façades), le résultat positif du point de vue environnemental peut-être généralisé à la rénovation de tout bâtiment traditionnel à la seule condition que le niveau de performances énergétiques du bâtiment visé par la rénovation soit identique à celui visé par la construction neuve. En revanche, l'étude comparative aux niveaux économique et social devrait être approfondie pour arriver à des conclusions généralisables. Il serait intéressant de ce point de vue de comparer les coûts financiers et les impacts sociaux de différents types de rénovations de bâtiments et de démolition/reconstruction.

7. PERSPECTIVES.

Cette étude de cas concret m'a permis de soulever plusieurs hypothèses. Par exemple, afin de considérer la reconstruction du nouveau bâtiment après démolition, je me suis appuyée sur la solution du bâtiment rénové, tout en apportant quelques modifications pour rester dans la logique constructive du bâtiment neuf. Bien évidemment, pour étayer ce travail, il serait peut-être intéressant de ne pas s'accorder à la solution de la rénovation pour le bâtiment neuf mais plutôt de débiter par une phase de conception, impliquant un aménagement différent pour les fonctions, une modification du principe structurel puisque dans le bâtiment neuf nous ne sommes plus liés aux contraintes que connaît la rénovation. De cette manière on pourrait avoir dans ce cas, une façade qui serait totalement indépendante du système structurel intérieur.

La suite de l'étude pourrait amener des résultats qui envisageraient plusieurs solutions en ce qui concerne la rénovation et la nouvelle construction de manière à prévoir quelle solution est la meilleure, par exemple, vaut-il mieux reconstruire en ossature bois, métallique,... ?

Un développement de l'outil permettrait de pouvoir considérer plusieurs types de bâtiments différents, car ici, il pourra être utilisé pour des bâtiments similaires à celui étudié : bâtiments de quelques niveaux construits en matériaux traditionnels. En revanche, si on a affaire à un bâtiment de logements de 100 étages, le procédé de démolition sera totalement différent, on utilisera par exemple l'explosif, ce qui n'a pas été pris en compte dans notre outil. [Philip et al. 2006]

L'ancienneté du bâti touche souvent un quartier entier. Il pourrait donc être très intéressant par la suite, d'étendre notre comparaison environnementale non plus à l'échelle du bâtiment mais à celui du quartier.

Enfin, les aspects sociaux et économiques pourraient faire l'objet de recherches plus approfondies pour optimiser les opérations de rénovation du stock bâti existant selon les trois piliers du développement durable.

8. TABLE DES FIGURES

| | |
|---|--------|
| <u>Figure 1</u> : Consommation d'énergie primaire mondiale en 2008 | 10 |
| <u>Figure 2</u> : Evolution des exigences PEB en ce qui concerne le bâtiment neuf en secteur tertiaire et du logement | 16 |
| <u>Figure 3</u> : Evolution des exigences PEB en ce qui concerne le bâtiment rénové en secteur tertiaire | 17 |
| <u>Figure 4</u> : Répartition de l'âge du bâti en Belgique | 23 |
| <u>Figure 5</u> : Evolution dans l'art de construire | 24 |
| <u>Figure 6</u> : Comment construire ou rénover « soutenablement » ? Sans amélioration de l'existant | 25 |
| <u>Figure 7</u> : Comment construire ou rénover « soutenablement » ? Avec amélioration de l'existant | 25 |
| <u>Figure 8</u> : Frontière du système | 29 |
| <u>Figure 9</u> : Les trois critères de durabilité | 30 |
| <u>Figure 10</u> : Exemple de système de produit pour l'ACV | 33 |
| <u>Figure 11</u> : Phase d'une ACV | 34 |
| <u>Figure 12</u> : Concept d'indicateurs de catégorie | 36 |
| <u>Figure 13</u> : Illustration du cycle de vie | 38 |
| <u>Figure 14</u> : Implantation du bâtiment étudié | 43 |
| <u>Figure 15</u> : Photo de la rénovation du CPAS | 45 |
| <u>Figure 16</u> : Filières de recyclage des déchets de construction et de démolition | 49 |
| <u>Figure17</u> : Diagramme de Mollier | 52 |
| <u>Figure 18</u> : Condensation interne par diffusion | 53 |
| <u>Figure 19</u> : Condensation interne par convection | 53 |
| <u>Figure 20</u> : Effet sur le transfert de chaleur suite à la mise en place d'un isolant intérieur | 54 |
| <u>Figure 21</u> : Efflorescence de sel | 54 |
| <u>Figure 22</u> : Inertie thermique du bâtiment | 55 |

| | |
|--|-----|
| <u>Figure 23</u> : Simulation par Wufi : teneur en eau présente dans le mur | 56 |
| <u>Figure 24</u> : Simulation par Wufi : teneur en eau présente dans le mur après traitement | 56 |
| <u>Figure 25</u> : Test de perméabilité à l'aide de la pipe de Karsten | 57 |
| <u>Figure 26</u> : Saignée réalisée dans la dalle de béton existante & mise en place de la poutre métallique avec barres d'attente pour les colonnes en béton armé futur | 58 |
| <u>Figure 27</u> : Détail technique d'un nœud constructif, vérification de l'absence de pont thermique par le logiciel Kobra | 59 |
| <u>Figure 28</u> : Détail d'un mur de façade isolé par l'intérieur | 60 |
| <u>Figure 29</u> : Procédure d'isolation | 60 |
| <u>Figure 30</u> : Mesure de l'étanchéité à l'air par la méthode « Blower Door | 61 |
| <u>Figure 31</u> : Valeur déterminée selon l'épaisseur de la couche d'air | 63 |
| <u>Figure 32</u> : Photo de l'implantation des doubles châssis | 63 |
| <u>Figure 33</u> : Implantation pour le chantier de démolition | 73 |
| <u>Figure 34</u> : équipement de démolition 1 | 75 |
| <u>Figure 35</u> : équipement de démolition 2 | 75 |
| <u>Figure 36</u> : équipement de démolition 3 | 76 |
| <u>Figure 37</u> : équipement de démolition 4 | 76 |
| <u>Figure 38</u> : Descente de charge | 78 |
| <u>Figure 39</u> : Répartition du vent sur la paroi verticale | 83 |
| <u>Figure 40</u> : Zonage de la paroi verticale | 84 |
| <u>Figure 41</u> : Zonage pour les toitures plates | 85 |
| <u>Figure 42</u> : diagramme de travail explicatif sur les conditions limites de l'étude | 95 |
| <u>Figure 43</u> : Fichier Excel : Caractéristique du bâtiment existant | 97 |
| <u>Figure 44</u> : Fichier Excel : Type de paroi à démolir | 98 |
| <u>Figure 45</u> : Fichier Excel : Choix de composition de la paroi existante | 99 |
| <u>Figure 46</u> : Fichier Excel : Pourcentage de paroi à démolir | 100 |
| <u>Figure 47</u> : Fichier Excel : Pourcentage de paroi à démolir | 100 |
| <u>Figure 48</u> : Fichier Excel : Pourcentage de matériaux, composant une paroi type, devant être démolir | |

| | |
|---|-----|
| | 101 |
| <u>Figure 49</u> : Fichier Excel : Données techniques provenant du fabricant selon le véhicule choisi | |
| | 102 |
| <u>Figure 50</u> : Fichier Excel : Base de données EcoInvent pour le transport | 103 |
| <u>Figure51</u> : Fichier Excel : Base de données EcoInvent pour le traitement des déchets | 103 |
| <u>Figure 52</u> : Fichier Excel : Choix des machines/engins | 103 |
| <u>Figure 53</u> : Fichier Excel : Données techniques des machines/engins | 105 |
| <u>Figure 54</u> : Fichier Excel : Choix des camions selon le tonnage de déchets à évacuer | 106 |
| <u>Figure 55</u> : Fichier Excel : Données techniques des différents camions | 108 |
| <u>Figure 56</u> : Fichier Excel : Données techniques des machines/engins | 110 |
| <u>Figure 57</u> : Fichier Excel : Distance séparant chaque fournisseur au chantier de Forest | 112 |
| <u>Figure 58</u> : Potentiel de réchauffement global sur l'ensemble du cycle de vie étudié | 116 |
| <u>Figure 59</u> : Demande d'énergie sur l'ensemble du cycle de vie étudié | 117 |
| <u>Figure 60</u> : Tonnage des nouveaux matériaux nécessaire à la reconstruction ou rénovation du bâtiment | 121 |
| <u>Figure 61</u> : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi | 121 |
| <u>Figure 62</u> : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi | 122 |
| <u>Figure 63</u> : Potentiel de réchauffement global relatif à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et de colonnes de béton armé | 123 |
| <u>Figure 64</u> : Demande en énergie relative à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et colonnes de béton armé | 124 |
| <u>Figure 65</u> : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 20% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi | 127 |

| | |
|--|-----|
| <u>Figure 66</u> : Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 20% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi | 127 |
| <u>Figure 67</u> : Potentiel de réchauffement global relatif aux nouvelles parois du bâtiment en diminuant de 10% la quantité de matériaux nécessaires à la construction du bâtiment neuf après démolition | 129 |
| <u>Figure 68</u> : Demande en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en diminuant de 10% la quantité de matériaux nécessaires à la construction du bâtiment neuf après démolition | 130 |
| <u>Figure 69</u> : Potentiel de réchauffement global du au transport des ouvriers sur chantier avec la phase 1 : phase de démolition partielle ou totale et la phase 2 : phase de rénovation ou reconstruction | 131 |
| <u>Figure 70</u> : Demande d'énergie due au transport des ouvriers sur chantier avec la phase 1 : phase de démolition partielle ou totale et la phase 2 : phase de rénovation ou reconstruction | 131 |
| <u>Figure 71</u> : Potentiel de réchauffement global due au fonctionnement des engins pendant la démolition | 133 |
| <u>Figure 72</u> : Demande en énergie due au fonctionnement des engins pendant la démolition | 134 |
| <u>Figure 73</u> : Potentiel de réchauffement global du à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données EcolInvent | 136 |
| <u>Figure 74</u> : Demandes en énergie dues à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données EcolInvent | 136 |
| <u>Figure 75</u> : Potentiel de réchauffement global du à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données provenant des fiches techniques du fournisseur | 137 |
| <u>Figure 76</u> : Demandes en énergie dues à l'évacuation des déchets vers leurs centres respectifs, base de données provenant des fiches techniques du fournisseur | 138 |
| <u>Figure 77</u> : Potentiel de réchauffement global du aux traitements des déchets, base de données EcolInvent | 139 |
| <u>Figure 78</u> : Demandes en énergie dues aux traitements des déchets, base de données EcolInvent | 139 |
| <u>Figure 79</u> : Demandes en énergie dues au recyclage des déchets | 140 |
| <u>Figure 80</u> : Tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf dans le cas de la démolition/reconstruction | 141 |
| <u>Figure 81</u> : Potentiel de réchauffement global du à l'extraction/fabrication selon le tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf | 142 |

| | |
|--|-----|
| <u>Figure 82</u> : Demandes en énergie dues à l'extraction/fabrication selon le tonnage des différents matériaux pour le bâtiment neuf | 143 |
| <u>Figure 83</u> : Potentiel de réchauffement global du aux transports des nouveaux matériaux pour le bâtiment neuf | 144 |
| <u>Figure 84</u> : Demandes en énergie dues aux transports des nouveaux matériaux pour le bâtiment neuf | 145 |
| <u>Figure 85</u> : Potentiel de réchauffement global du aux transports des nouveaux matériaux pour la rénovation | 146 |
| <u>Figure 86</u> : Potentiel de réchauffement global du aux transports des nouveaux matériaux pour la rénovation | 147 |
| <u>Figure 87</u> : Potentiel de réchauffement global du au fonctionnement des engins pour le bâtiment neuf | 148 |
| <u>Figure 88</u> : Potentiel de réchauffement global du au fonctionnement des engins pour la rénovation | 149 |
| <u>Figure 89</u> : Demandes en énergie dues au fonctionnement des engins pour le bâtiment neuf | 149 |
| <u>Figure 90</u> : Demandes en énergie dues au fonctionnement des engins pour la rénovation | 150 |
| <u>Figure 91</u> : Potentiel de réchauffement global du au transport des déchets pour le bâtiment neuf | 150 |
| <u>Figure 92</u> : Potentiel de réchauffement global du au transport des déchets pour la rénovation | 151 |

9. TABLE DES TABLEAUX

| | |
|---|-----|
| <u>Tableau 1</u> : Valeurs U maximales admissibles (W/m^2K) ou valeurs R minimales (m^2K/W) | 13 |
| <u>Tableau 2</u> : Classement des déchets selon leur nature | 48 |
| <u>Tableau 3</u> : Comparatif des avantages et inconvénients entre l'isolation par l'intérieur ou par l'extérieur. | 52 |
| <u>Tableau 4</u> : Valeurs des résistances thermiques pour l'ambiance extérieur et intérieur | 62 |
| <u>Tableau 5</u> : Caractéristiques des fenêtres utilisées | 64 |
| <u>Tableau 6</u> : Actions permanentes | 79 |
| <u>Tableau 7</u> : Catégories d'usages | 80 |
| <u>Tableau 8</u> : Charges d'exploitation | 80 |
| <u>Tableau 9</u> : Classification des toitures | 81 |
| <u>Tableau 10</u> : Coefficients de forme | 82 |
| <u>Tableau 11</u> Valeurs des coefficients de pression extérieur pour les murs verticaux | 84 |
| <u>Tableau 12</u> : Valeurs des coefficients partiels de sécurité ainsi que des facteurs de combinaisons | 87 |
| <u>Tableau 13</u> : Récapitulatif des valeurs obtenues pour la performance énergétique du bâtiment neuf | 88 |
| <u>Tableau 14</u> : Hypothèses de travail | 115 |
| <u>Tableau 15</u> : Potentiel de réchauffement en fonctions des différentes phases de l'ACV pour les deux scénarios étudiés | 119 |
| <u>Tableau 16</u> : Demandes en énergie en fonction des différentes phases de l'ACV pour les deux scénarios étudiés | 120 |
| <u>Tableau 17</u> : Potentiel de réchauffement relatif aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi | 122 |
| <u>Tableau 18</u> : Demande en énergie relative aux nouvelles parois du bâtiment suivant le scénario choisi | 122 |

Tableau 19: Potentiel de réchauffement relatif à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et colonnes de béton armé

124

Tableau 20: Demande en énergie relative à la paroi : murs extérieurs lorsque le procédé de rénovation est modifié et qu'il n'est plus nécessaire d'avoir recours à des poutrelles métalliques et des colonnes de béton armé

124

Tableau 21: Potentiel de réchauffement relatif à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données BEES

125

Tableau 22: Demande en énergie relatives à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données BEES

125

Tableau 23: Potentiel de réchauffement relatif à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données INIES

126

Tableau 24: Demande en énergie relatives à la paroi : murs extérieurs de compositions utilisant les blocs de béton avec la base de données INIES

126

Tableau 25: Potentiel de réchauffement relatif aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 10% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

128

Tableau 26: Demandes en énergie relatives aux nouvelles parois du bâtiment en remplaçant 10% des matériaux composant les parois initialement conservées à 100% suivant le scénario choisi

128

Tableau 27: Récapitulatif des résultats selon les trois critères de durabilité

155

10. ANNEXES

Cfr. Tome II

11. REFERENCES

André P. 2010. Cours n°4. Physique du bâtiment : 1-38

Arrêté du Gouvernement wallon avec annexes. 17 avril 2008. Méthode de calcul et exigences, agréments et sanctions applicables en matière de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments. Disponible sur : <http://energie.wallonie.be>

Bin G. et Parker P. 2011. Measuring buildings for sustainability : Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP house. Applied Energy XXX (2011) : XXX-XXX

Blengini G. A., 2009. Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: a case study in Turin, Italy. Building and Environment 44: 319–330

Blengini G.A., Di Carlo T., 2010. The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. Energy and Buildings 42 : 869-880

Boardman et al., 2005. Maison de 40%. Changement de l'environnement Institute, Oxford

Bourcy E., 2011. Analyse de cycle de vie des bâtiments. Mémoire Ulg, Université de Liège : 1-227.

Boverket. sektorns miljVomWal. Karlskrona, Sweden: Boverket, 1999

Branders A., Evrard A., sous la direction d'André De Herde. 2010. Architecture et climat. Guide d'aide à la conception. Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines.

Centre For Design, 2001. LCA Tools. Data and Application in Building and Construction Industry. RMIT University Australia

Cohen M. 2008. Une rénovation. Be.passive08

Cole R., Kernan P.,1996. Life-cycle energy use in office buildings. Building and Environment 31(4) : 307-17

Comité Européen de normalisation. 2002. EN 1990 :2002 F - Eurocodes structuraux - Eurocodes: Bases de calcul des structures

Comité Européen de normalisation. 2002. EN 1991-1-1:2002 F - Eurocode 1: Actions sur les structures - Partie 1-1: Actions générales -Poids volumiques, poids propres, charges d'exploitation bâtiments

Comité Européen de normalisation. 2003. EN 1991-1-3:2003 F- Eurocode 1 - Actions sur les structures - Partie 1-3: Actions générales - Charges de neige

Comité Européen de normalisation. 2005. EN 1991-1-4:2005 F- Eurocode 1: Actions sur les structures - Partie 1-4: Actions générales - Actions du vent

Commission Européenne - Energy efficiency: energy performance of buildings. Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy

performance of buildings. Disponible sur :
http://europa.eu/legislation_summaries/other/l27042_en.htm

Commission Européenne 2002. Lutte contre le changement climatique. Décision 2002/358/CE du Conseil, Protocole de Kyoto (11décembre 1997) sur les changements climatiques, Disponible sur :
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/l28060_fr.htm, page consultée le 16-02-2012

Commission Européenne 2009. Lutte contre le changement climatique. Décision n° 406/2009/CE. Réduction des gaz à effet de serre d'ici à 2020, Disponible sur :
http://europa.eu/legislation_summaries/environment/tackling_climate_change/en0008_fr.htm, page consultée le 16-02-2012

Courard L. Version 2010-2011. Valorisation des déchets et sous-produits industriels en génie civil : 1-181

CSTC. 1er trimestre 2012. Edition spécial: étanchéité à l'air. 33 : 1-38

CSTC. Octobre 2011. Exigence PEB pour les trois régions belges : 1-8. Consultable sur www.cstc.be.

De Meester T. 2009, Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique, LEHR : 1-58

Deuxant MA et Jourde O. 2007. IBGE / division Energie, Air, Climat et Bruit / département Plan Air, Climat et Energie : 1-47

Enquête socio-économique 2001 - Monographie «Le logement en Belgique» - SPF Economie, Direction générale Statistique et Information Economique (DGSIE), Politique scientifique fédérale - D. Vanneste, I. Thomas, L. Goossens - Bruxelles, 2007

Erlandsson M., Borg M., 2003. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. Building and Environment 38 : 919 – 938

Erlandsson M., Levin P., 2004. Environmental assessment of rebuilding and possible performance improvements effect on a national scale. Building and Environment 39 : 1453–1465

Evrard A., Branders A. 2010. Guide d'aide à la conception, isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines, ISOLIN : 1-89

Goethghebuer Th. 2008. Fiche thématique projet RELOSO, MATRIciel, conseils et études en architecture durable

Haapio A., Viitaniemi P., 2008. A critical review of building environmental assessment tools. Environmental Impact Assessment Review 28 : 469–482

Hauglustaine. J-M. XXXX. The evolution of energy and environmental regulations applied to buildings, in Europe. Submitted to the 1st International Conference on Energy, Environment and Climate Changes.

Hauglustaine. J-M., Simon F. Février 2006. La rénovation et l'énergie, guide pratique pour les architectes, Université de Liège, Université Catholique de Louvain, Ministère de la région wallonne

Hensenne M. 2011. Analyse en cycle de vie d'un bâtiment : comparaison entre deux logiciels (EQUER et GaBi) et une étude à la main. Mémoire Ulg, Université de Liège : 1-93

Huet V., Carvallo Aceves A., Thomas, J.-S., Caroli G., Bridoux, D., Reiter, S. Life Cycle Assessment of a labeled low energy building : case study of a semi-detached house based on a steel structure

Huijbregts M., Rombouts L., Hellweg S., Frischknecht R., Hendriks A., van de Meen D., Ragas A., Reijnders L., Struijs J. 2006. Is Cumulative Fossil Energy Demand a Useful Indicator for the Environmental Performance of Products? Environmental Science and Technology 40(3) : 641–648

IBGE. Décembre 2009. Guide de la gestion des déchets de construction et de démolition. Bruxelles environnement. Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement : 1-82

IBGE. Juillet 2007. Info fiche : La performance énergétique et le climat intérieur des bâtiments : 1-6. Consultable sur www.ibgebim.be

IBGE. Juillet 2011. Info fiche : Les exigences en matières de performance énergétique et de climat intérieur des bâtiments (exigences PEB) : 1-8. Consultable sur www.ibgebim.be

IBGE. Mai 2007. Infos fiches-déchets : le chantier d'enlèvement d'amiante : 1-11

ISO (International Standardization Organization) 2007. ISO 6946:2007 (E). Building Components and Building Elements – Thermal Resistance and Thermal Transmittance –Calculation Method

ISO (International Standardization Organization). 2006 (a) ISO 14040. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadre : 1-23

ISO (International Standardization Organization). 2006 (b) ISO 14044. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Exigences et lignes directrices : 1-49

Kints C. 2008. La rénovation énergétique et durable des logements wallons, analyse du bâti existant et mise en évidence des typologies de logement prioritaires. UCL , Architecture & climats : 1-49

Legrand C. Octobre 2000. Chef de division, centre scientifique et technique de la construction, la prévention des déchets : quelques pistes. Colloque sur les déchets de bâtiment

Malmqvist T., Glaumann M., Scarpellini S., Zabalza I., Aranda A., Llera E., Díaz S., 2010. Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines, Energy. 36(4) : 1-8

MEMO. 13 novembre 2008/693, Moins de dépenses grâce à des bâtiments moins gourmands en énergie: refonte de la directive sur la performance énergétique des bâtiments. Disponible sur : <http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=MEMO/08/693&format=HTML&aged=0&language=FR&guiLanguage=en>

Ortiz O., Castells F., Sonnemann G., 2009. Sustainability in the construction industry : A review of recent developments based on LCA. Construction and Buildings Materials 23(1) : 28-39

Ortiz O., Pasqualino J.C., Díez G., Castells F., 2010. The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective. Resources, Conservation and Recycling

Philip J-C, Bouyahbar F., Muzeau J-P. 2006. Guide pratique de la démolition des bâtiments : 1-83

Popovici E., Peuportier B., 2004. Using life cycle assessment as decision support in the design of settlements. Proudings of the 21th Conference on Passive and Low Energy Architecture (PLEA 2004). Eindhoven, The Netherlands, 19 – 22

Power A. 2008, Does demolition or refurbishment of old and inefficient homes help to increase our environmental, social and economic viability? Energy Policy 36 (2008) 4487-4501

Région wallonne. 2009. rubrique 26.65.03.04.01 : Chantiers d'enlèvement, de décontamination ou d'encapsulation d'amiante, de bâtiments ou d'ouvrage d'art contenant de l'amiante y compris les installations annexes (à l'exception des installations de traitement de déchets d'amiante par procédé thermique ou chimique visées par la rubrique 90.23.05)

Région wallonne. 2009. rubrique 26.65.03.04.01 : Chantiers d'enlèvement, de décontamination ou d'encapsulation d'amiante, de bâtiments ou d'ouvrage d'art contenant de l'amiante y compris les installations annexes (à l'exception des installations de traitement de déchets d'amiante par procédé thermique ou chimique visées par la rubrique 90.23.05) Consultable sur : http://environnement.wallonie.be/cgi/dgrne/aerw/pe/rubri/liste_amiante.idc

Région Wallonne. 27 avril 2010. Charte, version n°7 (cale3peb). Consultable sur energie.wallonie.be

Région Wallonne. septembre 2008. Charte, version n°5. Consultable sur energie.wallonie.be

Regnier M. Octobre 2000. Directeur général, Tradecowall SC, les filières de gestion des déchets. Colloque sur les déchets de bâtiment : de la conception à l'exécution, une chaîne de responsabilité.

Reiter S. 2010 Life Cycle Assessment of Buildings – a review, ArcelorMittal International Network in Steel Construction, Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting – ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction. 7 July 2010. Bruxelles.

Rossi B., Marique A-F., Glaumann M., Reiter S., 2012 (a). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool. Building and Environment 51 : 395 – 401

Rossi B., Marique A-F., Reiter S., 2012 (b). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study. Building and Environment 51 : 402-407

Rossi. 2010. Life Cycle Assessment of Buildings – a review, ArcelorMittal International Network in Steel Construction, Sustainability Workshop and Third Plenary Meeting – ArcelorMittal International Scientific Network in Steel Construction. 7 July 2010. Bruxelles.

Sartori I., Hestness A.G., 2007. Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article, Energy and Building. 40 : 249–257

Scheuer C., Keoleian G.A., Reppe P., 2003. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications, Energy and Building 35 : 1049–1064

SDC, 2006. 'Stock Take' : Delivering Improvements in Existing Housing. Sustainable Development Commission, London

Technichem. 2000. Hydrofuges. Dossier Technique

Thormark C., 2002. A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential, Building and Environment. 37 : 429–435

Verbeeck G., Hens H., 2010. Life cycle inventory of buildings : A calculation method, Building and Environment 45 : 1037–1041

Xing S., Xu Z., Jun G., 2007. Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings

12. PORTAILS INTERNET CONSULTÉS

Arden Equipment.2012. http://www.arden-equipment.fr/produit_demol.php

Météo.2012. Consultable sur [http : //usersskynet.be/Belgique/listing.txt](http://usersskynet.be/Belgique/listing.txt).

Opel. 2011. Le nouvel opel monavo. Spécifications techniques. Consultable sur : <http://www.opel.be/LanguageChoice.aspx?target=%2fDefault.aspx>

Scania. 2012. Scania construction trucks. Transport 30 tonnes, P380 CB 8X4EHZ. Consultable sur <http://fr.scania.be/trucks/>

Scania. 2012. Scania construction trucks. Camion 4 axes, R420 CB8X8EHZ. Consultable sur <http://fr.scania.be/trucks/>

Cat. 2012. Grue 20 tonnes, 962K Wheel Loader. Consultable sur http://www.cat.com/cda/servlet/cat.vce.servlet.GlobalizationServlet?locale=nl_be&language=nl&country=be&siteURL=http://belgie.cat.com

Cat. 2012. Pelle hydraulique 30 tonnes, 324E Pelle hydraulique. Consultable sur http://www.cat.com/cda/servlet/cat.vce.servlet.GlobalizationServlet?locale=nl_be&language=nl&country=be&siteURL=http://belgie.cat.com

Haulotte group. 2012. Nacelle, HA15IP. Consultable sur <http://www.haulotte.com/index.aspx?site=GROUP&lang=FR>

IBGE. 2012. consultable sur : <http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/informer.aspx?id=32557>

Région wallonne. 2012. Consultable sur : <http://energie.wallonie.be/fr/index.html?IDC=6018>

13. REUNION

Willem J. 2012. Interview bureau A2M

Durigneux G. 2012. Interview directeur de la société de démolition HUBLET

Demo JV SA. 2012. Interview téléphonique avec la société de démolition Bruxelloise Demo JV SA

RESUME

Ce travail de fin d'étude met en évidence les limites de la réglementation en vigueur pour la seule phase d'utilisation du bâtiment. Malheureusement, même si cette phase reste très importante, ceci ne permet pas de pallier à tous les impacts environnementaux générés par une construction. Il est donc de notre devoir de commencer à réfléchir sur l'ensemble du procédé de la construction.

Comme nous le verrons, de manière à atteindre les exigences de l'Union européenne fixée en matière d'environnement, il devient nécessaire d'apporter une nouvelle réflexion sur le stock existant. Comment devons-nous agir face à ce stock ancien ? Est-il préférable de rénover ou de démolir pour reconstruire un nouveau bâtiment ?

Ce travail essayera de répondre le plus clairement possible à cette question, en étudiant comme cas particulier : l'immeuble de bureaux du CPAS de Forest construit, en région de Bruxelles-Capital, dans les années 1930. Il abordera les phases de démolition, transport des déchets, recyclage, extraction/fabrication des matériaux, transport des nouveaux matériaux jusqu'au site de construction et enfin, la phase de chantier de reconstruction ou de rénovation selon le scénario choisi. L'étude se terminera à la réception du bâtiment. Le choix d'étude s'orientera sur deux indicateurs d'impacts, à savoir, la demande en énergie et le potentiel de réchauffement global.

Ce travail permettra donc de comparer dans le cas du CPAS de Forest quelle est la solution la plus favorable entre rénovation ou démolition/reconstruction du point de vue des trois critères de durabilité : environnement, économie, social.

Une réflexion plus poussée me permettra par la suite de compléter l'outil « LCA basic tool » développé par le Professeur Mauritz Glaumann de l'Université de Gävle et parachevé par Madame Barbara Rossi de l'Université de Liège. Ce logiciel pourra dès lors être utilisé de façon plus large en permettant à chaque concepteur d'encoder ses propres données à condition de rester dans des caractéristiques similaires au bâtiment étudié dans le cadre de ce TFE. (Bâtiment de quelques niveaux, construit en matériaux traditionnels)

ABSTRACT

This final assignment study highlights the limitations of the current regulations for only use the building phase. Unfortunately, although this phase is very important, this does not mitigate all environmental impacts generated by construction. It is therefore our duty to start thinking about the whole process of construction.

As we shall see, in order to achieve the requirements of the European Union set environmental, it becomes necessary to bring new thinking on the existing stock. How should we act on that old stock? Is it better to renovate or demolish and rebuild a new building?

This work will try to answer as clearly as possible to this question by studying as a special case: the offices of the Forest of CPAS, built in 1930. He will discuss the phases of demolition, waste transport, recycling, mining / manufacturing materials, transportation of new materials to the construction site and finally, the construction phase of reconstruction or renovation depending on the scenario. The study will conclude at the reception building. The choice of study will focus on impact indicators, namely, energy demand and CO2 emissions.

This work will therefore be compared in the case of Forest CPAS what is the most favorable solution between renovation or demolition / reconstruction in terms of three criteria of sustainability: environment, economy, social.

Further reflection will enable me later to complete the tool "basic tool" developed by Professor Mauritz Glaumann University of Gävle and completed by Mrs. Barbara Rossi University of Liege. This software can therefore be used more broadly by allowing each designer to encode its own data, provided they remain in the building of similar characteristics studied in this TFE.