

# LA RÉNOVATION RÉSIDENTIELLE

 **basse énergie & passive**

[ LA QUESTION DES INTERVENTIONS STRUCTURELLES ]



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

**JULIE DETROZ | ANNÉE ACADÉMIQUE 2011/2012 | PROMOTRICES : SIGRID REITER & BARBARA ROSSI**



# LA RÉNOVATION RÉSIDENTIELLE

## **basse énergie & passive**

[ LA QUESTION DES INTERVENTIONS STRUCTURELLES ]

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

Année académique 2011-2012

Promotrices : Sigrid Reiter et Barbara Rossi

Membres du Jury : Jean-Marie Bleus

Jean-Marie Hauglustaine

Pierre Leclercq

# REMERCIEMENTS

Ce travail terminé, je tiens à remercier les membres du jury :

Mesdames Sigrid Reiter et Barbara Rossi, promotrices de ce travail de fin d'études, pour leur disponibilité et leur intérêt porté sur ce dernier. Elles ont eu un regard critique tout au long de la recherche.

Messieurs Jean-Marie Bleus et Jean-Marie Hauglustaine de leurs conseils avisés qu'ils m'ont prodigués.

J'aimerais particulièrement témoigner ma reconnaissance aux architectes, aux bureaux de stabilité et d'étude énergétique suivants :

Monsieur Olivier Alexandre, Monsieur Thomas Goetghebuer du bureau MATRIciel, Monsieur Yves Piron, Monsieur Marc Opdebeeck du bureau Modelmo, Monsieur Henz du bureau FHW Architectes, Monsieur Draps, Madame Julie Willem du bureau A2M, Monsieur Benoit Meersseman du bureau JZH & Partners, Monsieur Vincenzo Vita du bureau Imhotep Engineering ainsi que Monsieur Quentin de Hulst de Luwoe Consult et Monsieur Jérôme Forthomme du bureau Brouae pour leurs expériences et leurs conseils judicieux.

Sans leur aide, il ne m'aurait pas été possible de réaliser cette étude. Passionnés par leur métier, ils m'ont accordé de leur temps avec enthousiasme.

Merci à ma famille et à mon entourage pour leurs encouragements et pour la relecture du travail.



# TABLE DES MATIÈRES

## INTRODUCTION

## ETAT DES LIEUX

<b>1</b>	<b>CONTEXTE EUROPÉEN.....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SECTEUR RÉSIDENTIEL EN BELGIQUE .....</b>	<b>8</b>
2.1	CONSTAT.....	8
2.2	DÉFINITIONS DES STANDARDS ET DES EXIGENCES ACTUELS .....	11
<b>3</b>	<b>RÉNOVATION RÉSIDENTIELLE BASSE ÉNERGIE, TRÈS BASSE ÉNERGIE ET PASSIVE.....</b>	<b>16</b>
3.1	LES ENJEUX.....	16
3.2	LES PRINCIPES DE BASE .....	22
3.3	LES INTERVENTIONS STRUCTURELLES.....	27

## ANALYSE DE CAS

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION DE L'ANALYSE.....</b>	<b>30</b>
1.1	OBJECTIFS ET CHAMPS DE L'ÉTUDE.....	30
1.2	MÉTHODOLOGIE .....	31
1.3	PRÉSENTATION DES CAS .....	33
<b>2</b>	<b>MAISON MITOYENNE   EUPEN .....</b>	<b>34</b>
2.1	FICHE D'IDENTITÉ.....	34
2.2	PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ .....	34
2.3	PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ.....	35
2.4	SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE .....	37
2.5	DESCENTES DE CHARGES .....	44
<b>3</b>	<b>MAISON MITOYENNE   SCHAERBEEK.....</b>	<b>46</b>
3.1	FICHE D'IDENTITÉ.....	46
3.2	PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ .....	46
3.3	PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ.....	48
3.4	SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE .....	51
3.5	DESCENTES DE CHARGES .....	66

<b>4 MAISON EN CŒUR D'ÎLOT   SCHAERBEEK .....</b>	<b>69</b>
4.1 FICHE D'IDENTITÉ.....	69
4.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ .....	69
4.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ.....	70
4.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE .....	73
4.5 DESCENTES DE CHARGES .....	82
<b>5 LOGEMENT COLLECTIF SEMI-MITOYEN   ETTERBEEK.....</b>	<b>83</b>
5.1 FICHE D'IDENTITÉ.....	83
5.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ .....	83
5.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ.....	84
5.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE .....	86
5.5 DESCENTES DE CHARGES .....	94
<b>6 BÂTIMENT EN ZONE PROTÉGÉE   FOREST .....</b>	<b>95</b>
6.1 FICHE D'IDENTITÉ.....	95
6.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ .....	95
6.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ.....	96
6.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE .....	98
6.5 DESCENTES DE CHARGES .....	111

## **BILAN DE L'ANALYSE**

<b>1 INTRODUCTION DU BILAN .....</b>	<b>113</b>
<b>2 PHASE I   CONTEXTE &amp; IDÉES.....</b>	<b>114</b>
2.1 VARIABLES DE DÉPART .....	114
2.2 COHÉRENCE ENTRE LES VARIABLES .....	115
2.3 TENDANCE DES CAS D'ÉTUDES.....	115
<b>3 PHASE II   MATÉRIALISATION ET ORIENTATION DES INTENTIONS .....</b>	<b>116</b>
3.1 RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE.....	116
3.2 TABLEAU DE LA PHASE II .....	117
<b>4 PHASE III   INTERVENTIONS STRUCTURELLES &amp; IMPACTS .....</b>	<b>118</b>
4.1 TOITURE PLATE ET INCLINÉE .....	119
4.2 TOITURE VERTE .....	123
4.3 DALLE CONTRE SOL .....	124

4.4	PLANCHER SUR CAVE ET SUR VIDE VENTILÉ .....	124
4.5	FAÇADE AVANT/À RUE.....	125
4.6	EVITER LES INTERVENTIONS STRUCTURELLES .....	129
4.7	FAÇADE ARRIÈRE .....	132
4.8	BALCON .....	133
4.9	MUR PIGNON .....	134
4.10	ANNEXES .....	135
4.11	OUVERTURES DES PAROIS EXTÉRIEURES .....	136
4.12	COHÉRENCES ENTRE LES SOLUTIONS CHOISIES.....	137
4.13	CONCLUSION .....	138
<b>5</b>	<b>SUJETS CONTROVERSÉS .....</b>	<b>139</b>
5.1	RÉSISTANCE SISMIQUE.....	139
5.2	RISQUE D'INCENDIE.....	140

## **CONCLUSION & PERSPECTIVES**

**TABLES DES FIGURES**

**TABLE DES TABLEAUX**

**TABLE DES PHOTOS**

**ANNEXES**

**BIBLIOGRAPHIE**

Habiter

Environnement

Objectifs

**Rénovation**

**INTRODUCTION**

---

Enjeux

**Société**

Climat

Défi

**ETAT DES LIEUX**

---

Maçonnerie

Etanchéité

Détails

**Isolation**

**ANALYSE DE CAS**

---

Standard

Structure

**Impacts**

Intentions

**BILAN DE L'ANALYSE**

---

Conception

Coût

**Outil**

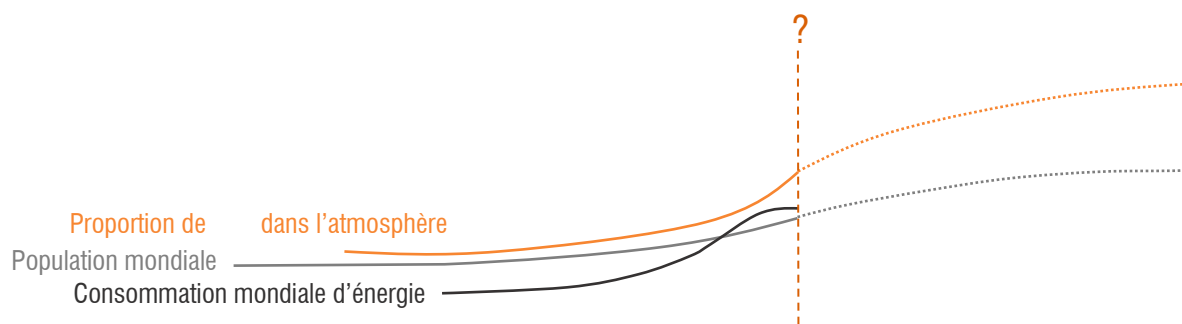
Non résidentiel

**CONCLUSION & PERSPECTIVES**

---

**“HOMES ARE IMPORTANT.  
THEY ARE THE PLACES WHERE WE LIVE, PRAY, SUFFER, LAUGH AND CRY...  
PLACES WHERE WE ALWAYS WANT TO RETURN AND REMEMBER HOW IT WAS.”**  
Oscar Niemeyer

La définition du terme « habiter » est « se protéger des éléments, se loger, résider ». Au-delà de cette définition primaire, habiter témoigne de la relation entre l’homme et le lieu de son existence, fonction de l’espace et du temps. La temporalité est une notion essentielle. Par cette phrase, nous entendons que l’habitat doit évoluer et répondre aux enjeux actuels. Or, l’enjeu majeur de l’homme du XXI<sup>e</sup> siècle est la protection de l’environnement et à cette fin, la diminution de son empreinte en dioxyde de carbone. L’homme a, en effet, pris conscience que les ressources de la terre ne sont pas inépuisables.<sup>1</sup>



Le réchauffement climatique incite notre société à revoir sa manière de penser, de concevoir, d’habiter, ... Notre objectif est donc d’aboutir à une gestion durable du développement urbain dans le but de densifier les centres villes. Les stratégies non exhaustives pour y parvenir sont : l’arrêt de l’étalement urbain, le développement des transports en commun, la rénovation du parc immobilier existant, ... L’habitat existant, souvent qualifié de « troisième peau », doit faire partie intégrante de cette stratégie en diminuant sa consommation énergétique de manière drastique.

Depuis des années, le changement climatique et l’augmentation des émissions de gaz à effet de serre sont au cœur des débats politiques, sociaux et économiques. Les stratégies mises en place pour préserver l’environnement sont développées dans la première partie de ce travail : « Etat des lieux ». Dans ce chapitre, nous abordons cette problématique ainsi que les mesures de prévention à adopter au niveau européen. Ces dernières, à court terme et à long terme, sont davantage détaillées au sein d’un secteur précis de notre pays : le secteur résidentiel en Belgique suite à un constat alarmant sur la faible performance énergétique du parc immobilier belge comparée à la moyenne européenne. Ce secteur a donc adopté des préventions pour la protection de l’environnement. Une des préventions prépondérante est la suivante : l’entrée en vigueur de la réglementation appelée « Performance énergétique des bâtiments », dite PEB et de standards visant des exigences supérieures à celles introduites par cette dernière, à savoir les standards basse énergie et passif.

<sup>1</sup> Source du schéma ci-dessous : bureau EcoRce.

La suite du travail porte sur la rénovation résidentielle basse énergie et passive et plus précisément, sur les enjeux et les principes de base. Ces derniers sont centrés principalement sur le bilan énergétique de la situation existante avant les travaux de rénovation, en comparaison à celui à atteindre une fois les travaux réalisés.

Aujourd'hui, parvenir à une performance énergétique élevée au sein des bâtiments existants (et évidemment neufs) est devenu un objectif éminent. Néanmoins, malgré la médiatisation et le développement économique de ce secteur énergétique, le nombre de rénovation énergétique est faible en Belgique : seuls six bâtiments résidentiels rénovés sont certifiés passifs dans les Régions de Wallonie et de Bruxelles-Capitale d'après l'inventaire réalisé par la Plate-forme Maison Passive ! Ce constat s'explique notamment par une réelle confusion des habitants. Pour illustrer cette dernière, tentons une petite expérience ; une dizaine d'habitants sont interrogés. Il leur est demandé, sur base d'un brainstorming, d'émettre spontanément par écrit autant d'idées que possible sur le sujet suivant : « Rénovation résidentielle énergétique ». Analysez quelques résultats :

- panneaux photovoltaïques
- chaudières à condensation
- pompes à chaleur
- Isolation thermique
- construction à ossature bois.
- Éoliennes.

- 1- Double vitrage
- 2- Nouveaux châssis
- 3- Panneaux photovoltaïques
- 4- Isolation
- 5- Chaudière à condensation

- 1- Étendre les lumières quand on quitte une pièce
- 2- acheter des ampoules économes
- 3- installer une chaudière basse énergie
- 4- Diminuer la température ambiante

- Pompe à Chaleur
  - Chaudière à Condensation
  - Isolation du toit
  - Isolation des façades + exposées par extérieur
  - panneaux photovoltaïques
  - éventuellement poêle à pellets
1. ISOLATION DES MURS
  2. ISOLATION FENÊTRES
  3. ISOLATION DU TOIT
  4. MISE DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES
  5. CHAUDIÈRE À CONDENSATION
  6. POÊLE À PELLETS
  7. MURS VÉGÉTAUX → (ÉCOLOGIQUE)
  8. ÉOLIENNE

À la question « Que faire pour que notre maison devienne moins énergivore ? », la plupart des personnes interrogées envisageraient d'investir en premier lieu dans un arsenal de nouvelles technologies. Or, la première source d'économie d'énergie est l'isolation complète de l'habitation ! Ce principe de base n'est donc pas encore acquis par la population. Pour quelles raisons ? Une médiatisation moins importante ? | Un effet de mode ? | Un coût élevé ? | Ou tout simplement la peur des travaux à réaliser ?

Une nouvelle fois à la suite d'un manque de connaissance, le maître d'ouvrage risque de se lancer dans la rénovation sans prendre conscience des interventions structurelles que peut engendrer la performance énergétique visée initialement.

Le questionnement général de la suite du mémoire est le suivant :

*Quelles sont les interventions structurelles rencontrées lors de rénovations basse énergie et passive ?  
Quels sont les impacts énergétiques et techniques émergeant ?*

En raison d'études qui sont récentes en Belgique, les problématiques structurelles et leurs solutions sont peu connues aussi bien du grand public que du milieu professionnel car nous sommes toujours au cœur de l'expérimentation autant en terme de structure que de performance énergétique. Aucun livre, aucun article traitant l'ensemble des interventions structurelles existantes n'a encore vu le jour. Pour prendre connaissance de ces dernières, il est donc nécessaire de partir d'une série d'expériences. C'est pourquoi la deuxième partie de ce mémoire, « Analyses de cas », consiste à étudier des projets de rénovation suivant une méthodologie qui sera expliquée antérieurement. Elle est basée sur de multiples interviews d'architectes, de bureaux de stabilité et de bureaux d'étude.

Le bilan des interventions structurelles est exposé dans la troisième et dernière partie du travail. Il va tenter d'analyser les différentes solutions tirées des études de cas et approfondir ces choix en fonction de l'objectif énergétique initial.

Le but de ce mémoire n'est pas de trouver une intervention structurelle comme solution unique applicable à toutes les rénovations énergétiques mais, élaborer un catalogue de solutions structurelles en fonction du type de parois afin de fournir les outils nécessaires aux intervenants avant d'entamer l'étude approfondie de la rénovation. Ainsi, ce travail va donner aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre, dès le stade de l'avant-projet, un premier aperçu des interventions structurelles nécessaires qu'ils pourraient rencontrer pour atteindre le standard basse énergie et passif lors d'une rénovation résidentielle.

Habiter

Environnement

Objectifs

**Rénovation**

**INTRODUCTION**

---

Enjeux

Climat

**Société**

Défi

**ETAT DES LIEUX**

---

Maçonnerie

Etanchéité

Détails

**Isolation**

**ANALYSE DE CAS**

---

Standard

**Impacts**

Structure

Intentions

**BILAN DE L'ANALYSE**

---

Conception

Coût

**Outil**

Non résidentiel

**CONCLUSION & PERSPECTIVES**

---



# ETAT DES LIEUX

## 1 CONTEXTE EUROPÉEN

Au 21<sup>e</sup> siècle, l'Europe affronte une de ses plus importantes préoccupations, l'énergie. Des stratégies sont mises en place afin de préserver l'environnement telles que la réduction des émissions de gaz à effet de serre<sup>2</sup> et le ralentissement du changement climatique. [Europa, 2006]

Le changement climatique est la seconde préoccupation des Européens après le pouvoir d'achat. Un organisme, le Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'Evolution du Climat (GIEC), créé en 1998 par l'Organisation météorologique Mondiale et le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, s'interroge sur cette problématique, ses conséquences et les mesures de prévention à adopter. Il a réalisé des projections du réchauffement climatique dans les années à venir (Figure 1) ainsi que de la montée associée du niveau des eaux. L'activité humaine est à l'origine d'une augmentation continue des émissions de gaz à effet de serre. [Commission on Sustainable Development] [Le portail de la science] Ces risques environnementaux projetés sont donc la conséquence des techniques d'exploitation et d'utilisation de l'énergie. [Guerriat A., 2008]

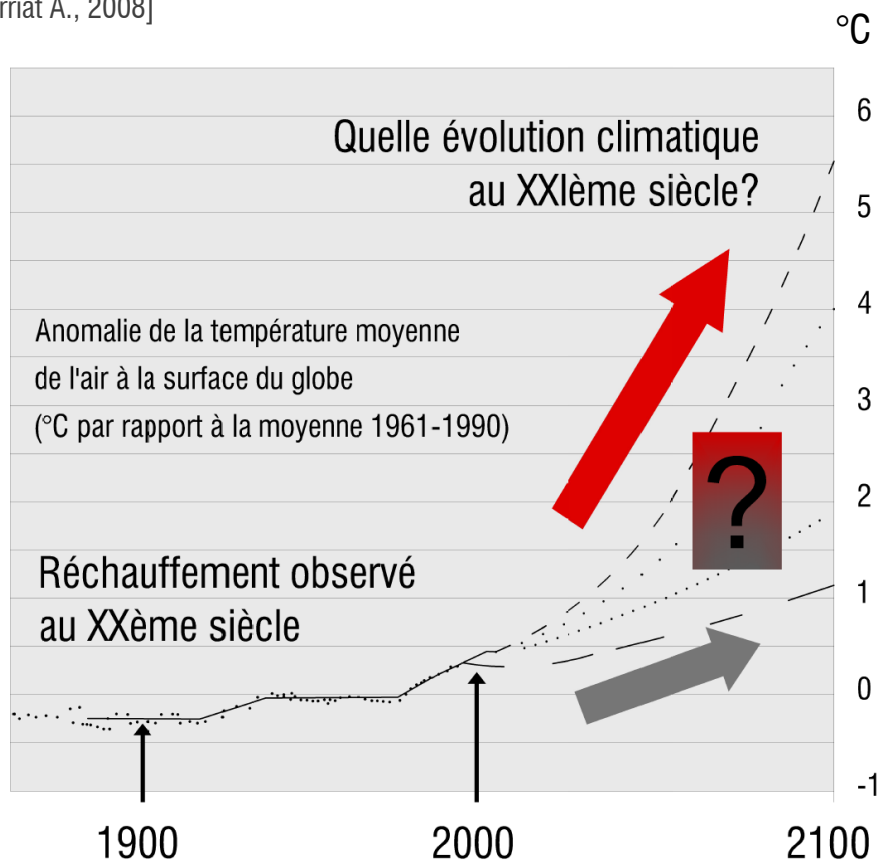


Figure 1- Projections du réchauffement climatique pour le 21<sup>e</sup> siècle (Source: Le portail de la science)

<sup>2</sup> La définition de gaz à effet de serre est : « Les Gaz à Effet de Serre (GES) sont des gaz qui absorbent une partie des rayons solaires en les redistribuant sous la forme de radiations au sein de l'atmosphère terrestre, phénomène appelé effet de serre. Les principaux gaz à effet de serre sont : la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), le méthane (CH<sub>4</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), l'hydrofluorocarbure (HFC), le perfluorocarbure (PFC) et l'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>). » [Europa, 2006]

Après la signature du Protocole de Kyoto en septembre 1997, l'Europe poursuit des objectifs ambitieux en faveur du développement durable. En effet, la « stratégie Europe 2020 » met en place cinq missions dont la troisième est relative au changement climatique et à l'énergie. Cette stratégie précise que l'Union Européenne doit réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 20 % par rapport à 1990<sup>3</sup>, utiliser 20 % d'énergie d'origine renouvelable et augmenter de 20 % l'efficacité énergétique. [ADAM, 2011] [Commission Européenne – Europe, 2020] [Europa, 2006]

Compte tenu de la nécessité de maintenir la hausse moyenne des températures mondiales en dessous de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux pré-industriels, la DG CLIMA, The Directorate-General for Climate Action, développe des stratégies pour que l'Union Européenne puisse atteindre ses objectifs pour 2020 et au-delà. Une étude intitulée « *Bridging the Emissions Gap* », traduit par « *Réduire l'écart entre les besoins et les perspectives en matière de réduction des émissions* », est présentée dans le rapport annuel du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Elle affirme qu'économiquement et techniquement parlant, il est possible de diminuer les émissions de gaz à effet de serre d'ici 2020 de manière à préserver l'augmentation de température sous la barre des 2°C. [European Commission, 2011] [Information sur l'actualité des acteurs du développement durable]

Les bâtiments résidentiels et commerciaux dans l'Union Européenne représentent la part la plus importante de la consommation totale d'énergie primaire, soit 40 %, et ce, devant les transports et l'industrie<sup>4</sup>. Le pourcentage d'émissions totales de CO<sub>2</sub>, quant à lui, s'élève à 36 %. Les enjeux économiques et environnementaux sont donc prioritaires pour ce secteur. [ATOS GROUP] [Europa, 2009] [European Commission – Managenergy]

L'élément clé pour remplir les objectifs de 2020 est l'amélioration de la performance énergétique<sup>5</sup> des bâtiments, dite PEB. A cet effet, la directive 2002/91/CE est le principal instrument législatif de l'UE dans le but d'atteindre cette performance. Ainsi, au sein des pays membres, des exigences minimales concernant la performance énergétique des bâtiments neufs et des grands bâtiments existants en cas de rénovation doivent être respectées et vérifiées par une méthode de calcul et sa réglementation. De plus, un certificat énergétique doit être fourni en cas de construction, vente ou location et les chaudières ainsi que les systèmes de climatisation sont soumis à une inspection (Figure 2). Après les électroménagers, la maison doit donc elle aussi afficher sa consommation d'énergie au travers d'un indicateur global de performance énergétique : le certificat PEB. Il classe les bâtiments en fonction de leur consommation spécifique et labélise ceux-ci d'un niveau allant de A++ à G. Cette consommation est définie comme étant le rapport entre la consommation totale annuelle d'énergie primaire et la surface de planchers chauffée<sup>6</sup>. Elle s'exprime en kWh/m<sup>2</sup>.an. [DGO4, 2011] Cette directive oblige ainsi les pays membres à fixer tous les 5 ans des objectifs concernant la réduction de la consommation d'énergie et des émissions de gaz à effet de serre. [Amjahdi M. & Lemale J., 2010] La réglementation PEB qui s'applique uniquement aux bâtiments neufs ou aux rénovations de bâtiments de plus de 1000 m<sup>2</sup> (jusqu'à présent) est donc destinée à évoluer au cours du temps.

<sup>3</sup> Le protocole de Kyoto exigeait déjà une réduction de 8 % des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2012.

<sup>4</sup> Ces secteurs consomment chacun 30 % de l'énergie primaire.

<sup>5</sup> Définition: « *La performance énergétique est la réduction des pertes par rapport à la ressource utilisée et l'augmentation du rendement des transformations énergétiques* ». [Guériat A., 2008]

<sup>6</sup> Dans le dépliant certificat PEB [Guillemeau J-M. et al., 2010], la définition de la surface de planchers chauffée est : « *Somme des surfaces de planchers de chaque niveau du bâtiment situés dans le volume protégé, mesurées entre les faces externes des murs extérieurs.* ».

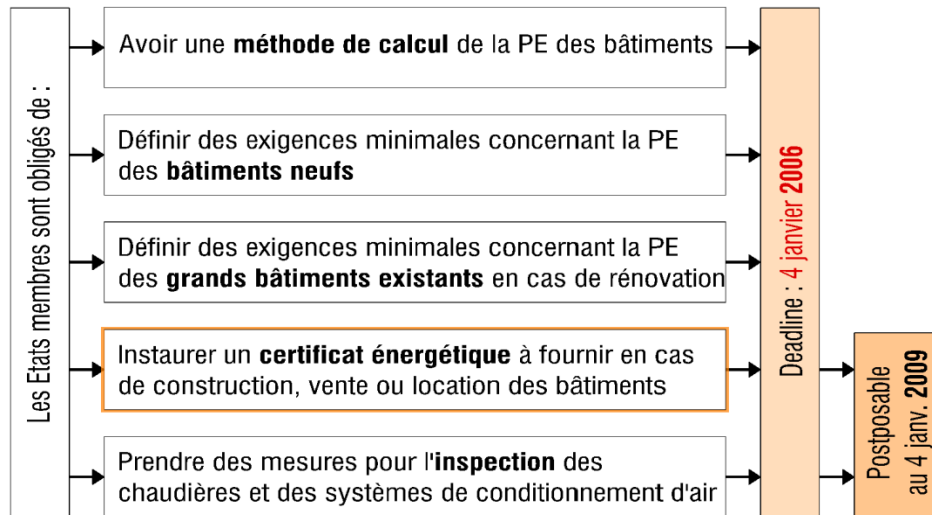


Figure 2 - Directive européenne 2002/91/EG votée le 16/12/2002  
(Source: La certification énergétique des bâtiments CSTC)

Outre cet accord européen, les pays de l'Europe sont libres de mettre en place leurs propres dispositifs, critères ou labels énergétiques, pour parvenir à cet objectif. Voici quelques exemples de réglementations et de labels européens: [ADAM, 2011]

- PEB en Belgique ;
- BBC-Effinergie (Bâtiment Basse Consommation :  $< 50 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ ) applicable à partir de 2012, suivi du BEPOS (Bâtiment à Energie Positive) à partir de 2020 en France ;
- General Framework for Physical Planning and Sustainable Development (GFPPSD) en Grèce;
- Le label "PassivHaus" ( $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{an}$ ) et "Materialökologie und Produktprüfung" en Autriche. Ce label PassivHaus allemand est également utilisé en Belgique ;
- Protocollo ITACA 2009 en Italie ;
- Romania Green Building Council en Roumanie;
- Le label Minergie en Suisse.

Il est important de préciser que les réglementations et les méthodes de calculs de ces labels sont différentes. Il est donc difficile de les comparer entre elles mais toutes doivent tendre vers un même objectif : une diminution des besoins en énergie des bâtiments et par conséquent, des émissions de CO<sub>2</sub> dans le secteur de la construction et de la rénovation. [Bourgeois M. et al., 2010]

## 2 SECTEUR RÉSIDENTIEL EN BELGIQUE

---

### 2.1 CONSTAT

La consommation d'énergie primaire annuelle par habitant de la Belgique est supérieure de 34,7 % par rapport à la moyenne de l'Union Européenne<sup>7</sup>. Ce chiffre provient principalement de la consommation de pétrole environ deux fois plus élevée dans notre pays, conséquence d'une société croissante et consommatrice de biens et de services. En effet, à l'exception de la période se situant entre les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, la consommation énergétique de la population ne cesse d'augmenter depuis la révolution industrielle de 1850. [Global Chance] [Guerriat A., 2008]

Chez nous, la responsabilité du secteur de la construction est importante [Massart C. & De Herde A., 2011] :

- « 50 % du total des ressources naturelles exploitées ;
- 45 % de la consommation totale d'énergie ;
- 40 % des déchets produits ;
- 30 % des émissions de gaz à effet de serre ;
- 16 % de la consommation d'eau, dont 1 à 2 % pour l'alimentation humaine ».

La construction a donc un impact environnemental considérable et impératif à réduire. A cet effet, la directive européenne permet de fixer des objectifs à atteindre et ainsi oblige la Belgique à connaître davantage son parc immobilier. Ce dernier s'est agrandi de plus de 80 % entre 1960 et 2008, soit à peu près deux millions de nouvelles constructions. Il s'agit principalement de maisons quatre façades les trente premières années et ensuite d'appartements ainsi que le développement d'infrastructures de génie civil. Les avancées techniques et l'apparition de la préfabrication des bâtiments ont permis cette expansion. [Conseil Central de l'Economie, 2009] [Massart C. & De Herde A., 2011]

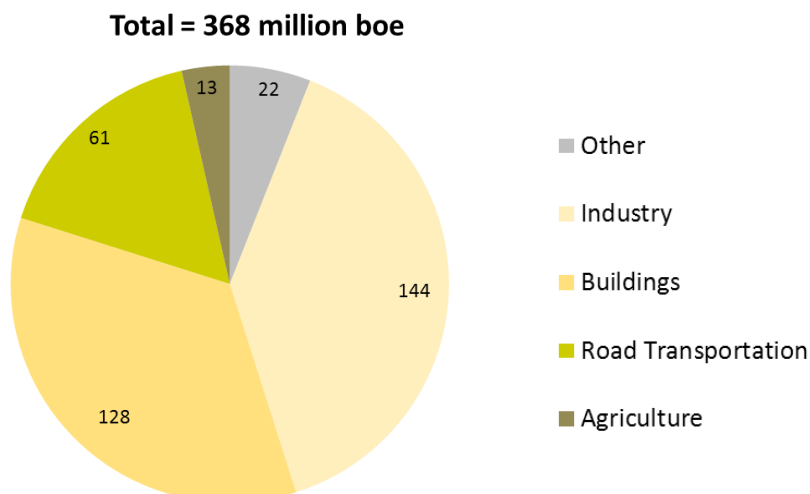
#### PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DU PARC IMMOBILIER

Le parc immobilier belge est caractérisé par une certaine ancienneté. En effet, environ 71 % des bâtiments belges sont âgés de vingt ans ou plus. [Conseil Central de l'Economie, 2011] Une étude réalisée par McKinsey & Company<sup>8</sup> [McKinsey & Company, 2009] montre qu'en 2005, ceux-ci représentent 35 % de la consommation totale d'énergie primaire (Figure 3). Cette consommation d'énergie est générée pour 73 % par les bâtiments résidentiels contre 27 % par ceux qui proviennent du secteur commercial. Il faut savoir qu'elle résulte principalement du chauffage, du système de climatisation, de l'utilisation d'eau chaude et d'électricité. [McKinsey & Company, 2009]

---

<sup>7</sup> La consommation d'énergie primaire en Belgique s'élève à 5,56 tep par habitant tandis que la moyenne européenne des 27 pays est de 3,63 tep par habitant. Ces données sont relatives à l'année 2007.

<sup>8</sup> McKinsey & Company est « un cabinet de conseil en gestion qui accompagne les entreprises, organismes publics et institutions à but non lucratif. Leurs principaux domaines d'intervention portent sur trois grands types de problématiques : la stratégie, l'organisation et l'efficacité opérationnelle ».



**Figure 3 - Répartition de la consommation totale d'énergie primaire, unité en million de bep, barils d'équivalent pétrole (Source: McKinsey & Company, 2009)**

Ces chiffres montrent que la performance énergétique du parc immobilier belge est faible. Cette constatation est d'autant plus vraie quand on la compare au niveau européen. En effet, avec une consommation d'énergie moyenne par logement de 348 kWh / m<sup>2</sup>.an, l'efficacité énergétique des bâtiments résidentiels belges est inférieure à ceux des autres pays d'Europe occidentale, ainsi qu'à la moyenne européenne de 203 kWh/m<sup>2</sup>.an. [McKinsey & Company, 2009]

Trois raisons peuvent expliquer la faible efficacité énergétique des bâtiments belges [McKinsey & Company, 2009] :

- *L'âge du parc immobilier de la Belgique.* Vu le faible taux de démolition d'environ 0,075 % par année, les bâtiments deviennent anciens et atteignent dès lors une durée de vie moyenne d'un siècle. De plus, cette efficacité risque de diminuer dans les 25 prochaines années car il est prévu que l'âge moyen du parc de bâtiments en Belgique augmente davantage par rapport aux autres pays européens.
- *Le pourcentage élevé de maisons unifamiliales.* Par exemple, en Allemagne, 53 % du parc résidentiel est composé d'appartements et de maisons habitées par plusieurs familles contrairement à la Belgique où ce taux s'élève à seulement 27 %.
- *Les faibles caractéristiques énergétiques.* Beaucoup de logements existants ne sont pas isolés correctement, les baies sont en simple vitrage, les installations de chauffage sont précaires, ... Engendrant des pertes énergétiques importantes, elles sont la conséquence de l'absence de normes strictes à l'époque de leur construction. Pour illustrer, 36 % des foyers belges sont dotés de fenêtres à double vitrage [Conseil Central de l'Economie, 2006], comparativement à 71 % des foyers du Royaume-Uni. De plus, pour ce qui est de l'isolation du toit, 58 % et 73 % des logements respectivement de la Belgique et du Royaume-Uni sont concernés.

### EMISSION DE GAZ À EFFET DE SERRE

Depuis la mise en vigueur du protocole de Kyoto en 2005, la Belgique a pour objectif de réduire de 7,5 % les émissions de gaz à effet de serre qui sont responsables du dérèglement climatique entre 2008 et 2012 par rapport au taux observé en 1990. Par ailleurs, en 2006, une baisse supérieure à 5 % est observée et ce, en

six ans de temps<sup>9</sup>. Comme cette analyse a été expliquée plus haut, le parc immobilier belge est ancien et ainsi, est un des plus énergivores au niveau européen. En effet, l'ensemble du parc (résidentiel et commercial) représente 21 % du total des GES faisant de ce dernier une des sources les plus importantes (Figure 4). Par ailleurs, les émissions de GES des bâtiments résidentiels datant d'avant les années 80 se situent à un taux de 72,5 % par rapport aux émissions totales des logements. Ce secteur est donc celui sur lequel il faut agir pour remplir les objectifs présents dans le protocole de Kyoto. [Conseil Central de l'Economie, 2009]

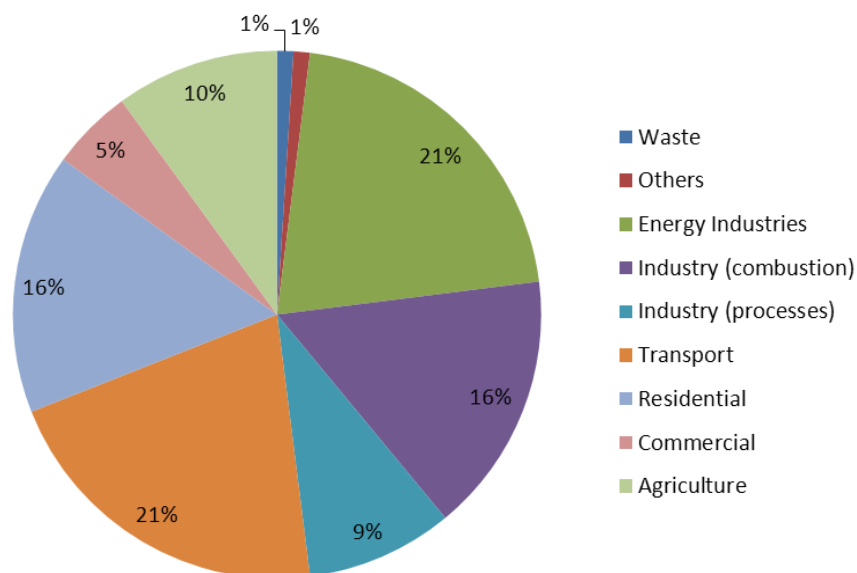


Figure 4 - Contribution des principaux secteurs aux émissions de gaz à effet de serre en Belgique en 2006 (Source : Conseil Central de l'Economie, 2009)

### LÉGISLATION RÉGIONALE

Au cours de ces dernières années, les régions wallonne, flamande et bruxelloise adaptent progressivement dans leur législation les exigences établies par la directive européenne relative à la performance énergétique des bâtiments (2002/91/CE). Ainsi, l'amélioration de la performance des nouveaux bâtiments ainsi que des grands bâtiments rénovés réduira la responsabilité du parc de bâtiments concernant les changements climatiques et les émissions de CO<sub>2</sub>. La réduction des nombreux impacts de la construction sur l'environnement est donc un enjeu prioritaire. [Conseil Central de l'Economie, 2009]

### OBJECTIF POUR 2030

L'étude réalisée par McKinsey & Company à partir de la Global Greenhouse Gas Abatement Cost Curve (« Courbe de coût globale des leviers de réduction des gaz à effet de serre ») et une dizaine d'études nationales prouvent que la Belgique possède le potentiel nécessaire à atteindre, en 2030, une consommation d'énergie primaire de 48 % au niveau des bâtiments résidentiels [Conseil Central de l'Economie, 2009]. A cette fin, cinq grandes catégories de mesures sont prises dans le but d'améliorer l'efficacité énergétique de ces derniers [McKinsey & Company, 2009] :

- L'amélioration de la performance énergétique des bâtiments existants. La moitié du potentiel d'économie réside dans la rénovation énergétique ; une solution est de rénover l'enveloppe des bâtiments résidentiels et commerciaux car environ 75 % de l'énergie finale dans le secteur

<sup>9</sup> En 2006, les GES (gaz à effet de serre) s'élèvent à 136 millions de tonnes équivalents CO<sub>2</sub>.

résidentiel est dédié au chauffage. En 2005, la consommation d'énergie moyenne pour le chauffage était de 188 kWh/m<sup>2</sup> pour les bâtiments existants, soit 223 et 114 kWh/m<sup>2</sup> respectivement pour les résidentiels et les commerciaux. Cette amélioration peut être poussée jusqu'au standard passif<sup>10</sup>. Elle comprend différentes mesures telles que l'ajout d'isolant dans le toit, dans les murs,... Toutefois, dans certains cas, lorsque d'importantes rénovations sont à entreprendre et qu'elles sont peu rentables, la démolition et la reconstruction sont à envisager.

- L'établissement de normes pour les bâtiments neufs sur les performances à viser. Ces normes sont appelées standard basse énergie, très basse énergie et passif. Elles seront définies plus loin.
- La performance de l'éclairage et des appareils électriques en remplaçant les ampoules par des LED et en appliquant des systèmes de contrôle.
- Une installation plus efficace du système de chauffage, de ventilation, de climatisation (HVAC) et de chauffage de l'eau. Il est conseillé d'effectuer un entretien régulier et de passer du chauffage électrique au gaz solaire à haut rendement pour l'eau chaude.
- Le changement de comportement des habitants.

Afin de promouvoir ces actions, un avantage fiscal est octroyé par les pouvoirs publics lors de la réalisation des travaux, plus précisément une réduction d'impôt s'élevant à 40 % du total des dépenses octroyée jusqu'à un certain plafond. [McKinsey & Company, 2009]

Un investissement total pour la mise en œuvre de ces catégories de mesures s'élève à 24 milliards d'euro répartis entre 2010 et 2030 dont une part de 85 % réservée aux bâtiments résidentiels.

De plus, l'application de ces objectifs crée non seulement des milliers d'emplois mais réduit également les émissions de gaz à effet de serre. [McKinsey & Company, 2009]

## 2.2 DÉFINITIONS DES STANDARDS ET DES EXIGENCES ACTUELS

L'objectif principal de ces dernières années est de diminuer la consommation d'énergie dans le secteur du bâtiment et plus précisément diminuer les besoins de chauffage. Il s'illustre dans la mise en place de la directive européenne « *Performance énergétique des bâtiments* ». Celle-ci a ensuite été convertie dans chacune des trois régions de notre pays. En effet, la nouvelle réglementation PEB est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> septembre 2008 en Région wallonne, le 2 juillet 2008 en Région Bruxelles Capitale et le 1<sup>er</sup> janvier 2006 en Région flamande. Toutefois, il faut savoir que modifier les standards de construction ne peut se faire instantanément mais progressivement avec les connaissances et les techniques qui le permettent. [IBGE, 2011] [Le Centre Urbain ASBL]

L'efficacité énergétique d'une résidence dépend de divers paramètres : sa compacité, son orientation, l'isolation thermique des parois, le rendement du vitrage, le pouvoir isolant du châssis, des ponts thermiques, l'étanchéité à l'air, le système de ventilation, le pare-soleil pour éviter les surchauffes, l'exploitation de l'énergie solaire, le dispositif de chauffage et d'eau chaude sanitaire,... La PEB met en place différentes mesures pour améliorer ces paramètres et rendre l'habitation moins énergivore. [Bourgeois M. et al., 2010] C'est pourquoi elle détermine non seulement le niveau d'isolation thermique à respecter mais impose également des exigences relatives à la consommation d'énergie totale d'une habitation, à la ventilation et au climat intérieur [Guillemeau J-M. et al., 2010] [Colin C., 2011].

---

<sup>10</sup> Le standard passif est défini plus loin.

Plusieurs indicateurs sont à définir préalablement [Guillemeau J-M. et al., 2010] [Colin C., 2011]:

**Valeur U :** Le coefficient de transmission thermique U d'une paroi ne peut pas dépasser une valeur U maximum fixée (Tableau 1). Il correspond à la quantité de chaleur qui traverse 1m<sup>2</sup> de cette paroi, par seconde et pour un écart de température de 1 K (= 1°C) entre l'intérieur et l'extérieur. Son unité est le W/m<sup>2</sup>K.

Éléments de construction	Bruxelles	Wallonie	Flandre (actuellement)	Flandre à partir de 2014
Toitures	$U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,24 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Murs extérieurs	$U_{\max} = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Sols en contact avec extérieur		$U_{\max} = 0,6 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
Autres sols (en contact avec la terre, au-dessus d'une cave,...)		$U_{\max} = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$	$U_{\max} = 0,3 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

Tableau 1 - Valeur maximum des coefficients de transmission thermique U des parois (Source : Passiefhuisplatform, 2012)

**Niveau K :** Il définit le niveau d'isolation thermique globale d'un bâtiment. Il s'agit d'un indicateur de la performance énergétique de l'enveloppe du volume protégé. Il est ainsi déterminé sur base des déperditions thermiques au travers des parois, de la surface totale de déperdition et du volume protégé.

**Valeur E :** Elle représente la consommation caractéristique annuelle d'énergie primaire nécessaire pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et le refroidissement éventuel, déduction faite de l'énergie apportée par une installation photovoltaïque et/ou de cogénération. Elle s'exprime en MJ ou en kWh/m<sup>2</sup> de plancher chauffé/an.

**Niveau E<sub>w</sub> :** Il constitue le niveau de consommation d'énergie primaire du bâtiment qui résulte du rapport entre le E du bâtiment et une valeur E de référence, multiplié par 100.



EXIGENCES À RESPECTER	RÉGION BRUXELLES CAPITALE			RÉGION WALLONNE			RÉGION FLAMANDE					
	Valeurs U	Niveau K	Niveau E	Climat intérieur	Valeurs U	Niveau K	Niveau E	Climat intérieur	Valeurs U	Niveau K	Niveau E	Climat intérieur
Habitations Appartements	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K40$	$E \leq 70$ depuis juillet 2011	Dispositif de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe (Voir la norme NBN D50-001)	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$	$E_w \leq 80$ $E_{spec} \leq 130$ kWh/m <sup>2</sup> an depuis le 01/09/2011	Dispositif de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe (Voir la norme NBN D50-001)	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$	$E \leq 80$ depuis le 01/01/2010	Dispositif de ventilation (résidentiel) Limitation du risque de surchauffe (Voir la norme NBN D50-001)
	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$	$E \leq 75$ depuis juillet 2011		$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$	$E_w \leq 80$		$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$	$E \leq 100$	
Bureaux Services Enseignement	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$			$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$			$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$		
Hôpitaux Horeca Commerces Hébergement collectif	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$				$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$			$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K45$		
Industriel	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$				$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K55$			$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$	$\leq K55$		
RÉNOVATION SIMPLE ET IMPORTANTE (1)	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$			En cas d'ajout, de suppression ou de remplacement des fenêtres d'un local: - dispositifs d'amenée ou d'évacuation d'air (résidentiel) - ventilation intensive Local nouvellement créé: dispositifs d'amenée ou d'évacuation d'air (résidentiel)	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$ (éléments modifiés et neufs)			Uniquement amenée d'air (2) (Voir la norme NBN D50-001)	$\leq U_{max}$ et/ou $\geq R_{min}$			Dispositif de ventilation (résidentiel) (3) Amenée d'air (résidentiel) dans les locaux où l'on remplace des châssis (4)

(1) Cas particuliers.

● La rénovation simple ou importante d'un bâtiment industriel n'est soumise à aucune exigence PEB.

● Tout bâtiment industriel, même s'il était chauffé au préalable pour les besoins de l'homme, qui, par changement d'affectation, acquiert la destination de bâtiment résidentiel, de bureau ou d'enseignement, est soumis aux mêmes exigences que le changement d'affectation - non chauffé → chauffé.

(2) Respect des débits d'amenée d'air prescrits uniquement pour les locaux secs dans lesquels on a changé des châssis.

(3) D'application si le volume protégé de la partie ajoutée ou reconstruite est inférieur ou égal à 800 m<sup>3</sup> et s'il ne s'agit pas d'ajouter une ou plusieurs unités d'habitation. Les exigences s'appliquent à la partie ajoutée ou reconstruite.

(4) Pas d'application pour un bâtiment dont le volume protégé est supérieur à 3000 m<sup>3</sup>, 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.

Tableau 2 – Réglementation PEB en région Bruxelles Capitale, wallonne et flamande (Tableau réalisé par l'auteur depuis la source : Guillemeau J-M. et al., 2010, de Meester T., 2009

Le **Tableau 2** nous indique ainsi qu'un niveau maximum de consommation n'existe pas pour la rénovation. Seules les valeurs maximales des coefficients de transmissions thermiques des parois doivent être respectées et seulement quand le bâtiment rénové correspond aux critères réglementaires en terme de taille, d'affectation et du niveau de la rénovation, ce qui est clairement insuffisant. C'est pourquoi il est intéressant d'amener des projets de rénovation vers des exigences énergétiques supérieures à celles imposées dans la réglementation. Au-delà des exigences de la réglementation PEB, il existe des standards supérieurs qui visent donc des objectifs plus ambitieux en terme de performances énergétiques du bâtiment résidentiel :

- Standard basse énergie : Le niveau d'isolation maximal est de K30. La demande en énergie de chauffage de ce type d'habitation doit être inférieure à 60 kWh/m<sup>2</sup>.an, soit un niveau de performance énergétique E60. [de Meester T., 2009]
- Standard très basse énergie : Le besoin net d'énergie de chauffage ne doit pas excéder 30 kWh/m<sup>2</sup>.an. Il est important de noter que ce standard n'est pas clairement défini et fait alors partie du standard basse énergie. C'est pourquoi il n'est pas spécifié explicitement dans le titre du TFE. [de Meester T., 2009]
- Standard passif : Venant à l'origine des pays du nord, ce label allemand s'est développé avec l'aide de l'Institut Passivhaus de Darmstadt et s'est ainsi répandu en Autriche et en Allemagne jusqu'à ce qu'il devienne une norme importante dans la construction et dans la rénovation de bâtiments. [de Meester T., 2009] Le niveau K se situe environ vers K10 – K12 et le niveau de performance est de E15. Ainsi, le besoin net d'énergie de chauffage ne doit pas dépasser 15 kWh/m<sup>2</sup>.an. De plus, l'étanchéité du bâtiment à l'air doit être très performante. En effet, le test Blower Door doit indiquer un taux de perméabilité à l'air inférieur ou égal à 0,6 vol/h sous 50 Pa ( $\eta_{50}$ ). Le pourcentage de surchauffe (plus de 25°C) doit également être limité à 5 % maximum<sup>11</sup>. Une dernière exigence appliquée uniquement en Région Bruxelles-Capitale concerne l'énergie primaire. Cette dernière doit atteindre au maximum 45 kWh/m<sup>2</sup>.an pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et les auxiliaires<sup>12</sup>. [de Meester T., 2009] Ainsi, les trois principes de base de ce standard sont l'isolation thermique totale, une étanchéité performante à l'air et la ventilation du bâtiment [Guerriat A., 2008]. Ces trois critères (quatre pour la Région Bruxelles-Capitale)<sup>13</sup> sont impérativement à respecter pour obtenir la certification. D'autres critères en résultent ; ils constituent les principes de base du point 2.3.2.

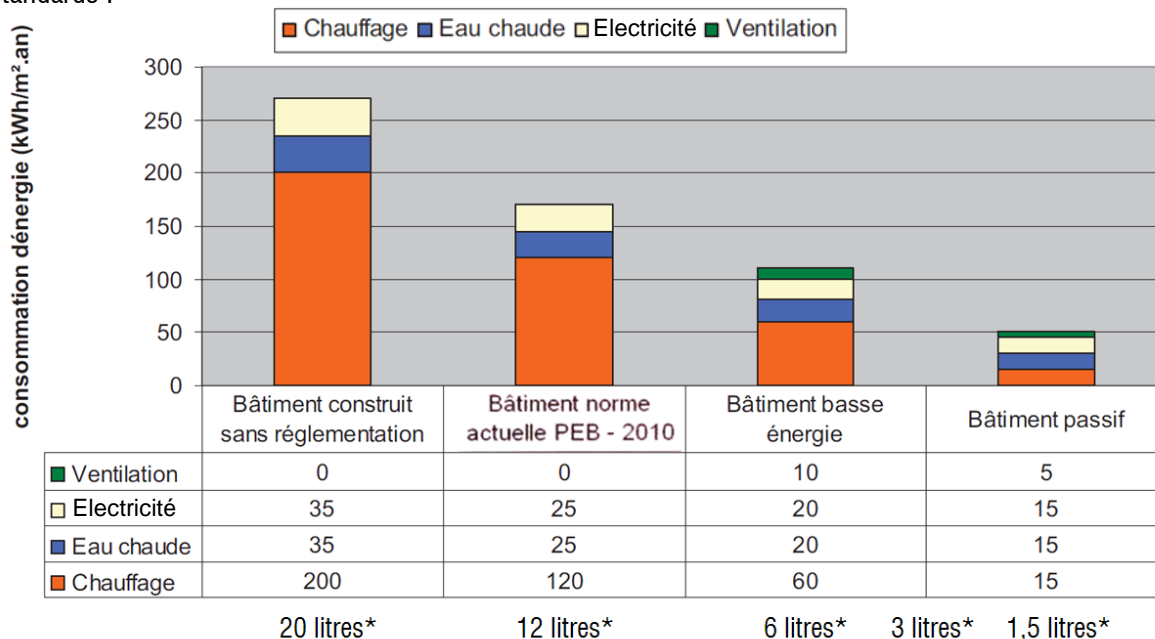
Les critères peuvent être vérifiés notamment par un programme informatique développé par l'association Passivhaus Institut et appelé PHPP (Passiv Haus Projektierung Paket). Aujourd'hui, il est le seul programme homologué pour certifier un bâtiment.

<sup>11</sup> « Le nombre d'heures au-delà de 25°C ne peut excéder 5% du temps de travail. » [Architecture et Climat, 2012]

<sup>12</sup> Les auxiliaires sont les dispositifs tels que les appareils électroniques, les ventilateurs,... Ils assurent le fonctionnement des installations énergétiques.

<sup>13</sup> Ces trois critères portent sur : la consommation pour le chauffage, la surchauffe, l'étanchéité à l'air et la consommation en énergie primaire uniquement pour la Région Bruxelles-Capitale.

La figure ci-dessous illustre la consommation d'énergie pour un bâtiment qui respecte les différents standards :



\* Litres équivalent mazout par m<sup>2</sup> d'habitation par an.

↓  
Très basse énergie

**Tableau 3 – Scénario de consommation énergétique globale d'une maison unifamiliale 4 façades en Belgique (Source : Bourgeois M. et al., 2010)**

Deux autres classifications moins connues existent. La première est la classification « zéro énergie ». Elle est définie par une habitation dont la demande en énergie non renouvelable de chauffage est nulle. La seconde est la classification « énergie positive » qui caractérise une maison qui produit plus d'énergie qu'elle n'en demande grâce à l'utilisation de systèmes utilisant les énergies renouvelables. Son bilan concernant la production d'énergie est donc positif. [Bourgeois M. et al., 2010]

## 3 RÉNOVATION RÉSIDENNELLE BASSE ÉNERGIE, TRÈS BASSE ÉNERGIE ET PASSIVE

### 3.1 LES ENJEUX

Les enjeux de la rénovation du parc immobilier actuel sont nombreux. L'homme réserve à l'habitat une place centrale dans sa vie car il y ressent un sentiment de protection, d'appartenance où il exerce des activités. [Bourgeois M. et al., 2010]

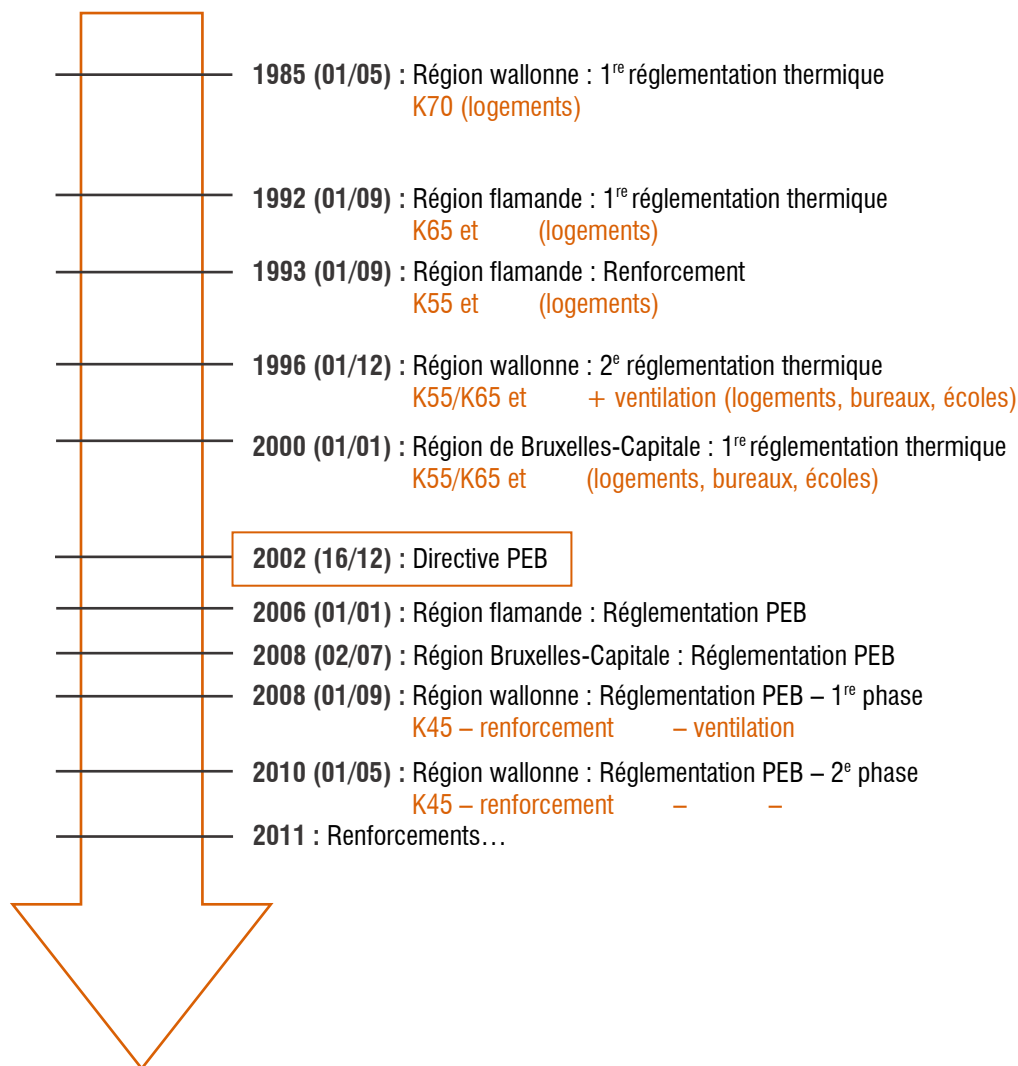
La Belgique hérite d'un parc immobilier de plus en plus important ; il est donc essentiel de le rénover. En effet, les logements d'avant-guerre ne correspondent plus aux attentes d'aujourd'hui en termes d'espace et de confort (thermique, acoustique, visuel et respiratoire). Certains sont même sujets à insalubrité. Prenons des exemples : les maisons de maître ont une superficie supérieure à celle nécessaire aux familles actuelles, de nombreux logements sont mal isolés et d'autres sont à assainir. [Bourgeois M. et al., 2010]

Le tableau ci-dessous illustre les différentes caractéristiques générales et énergétiques des constructions belges. La nécessité de les rénover est sans appel.

Type de maisons	Période de construction	% du parc construit avant 2010 en Belgique	Besoin de chauffage moyen en kWh/m <sup>2</sup> .an	Caractéristiques
Maison vernaculaire	18 <sup>e</sup> , 19 <sup>e</sup> début 20 <sup>e</sup> siècle	6%	> 330 kWh/m <sup>2</sup> .an	4 façades Volumétries diverses Techniques traditionnelles
Maison urbaine moyenne	Début 20 <sup>e</sup> siècle	16%	> 250 kWh/m <sup>2</sup> .an	Mitoyenne ou semi-mitoyenne Techniques traditionnelles
Maison villageoise	Entre-deux guerres	5%	> 250 kWh/m <sup>2</sup> .an	Maison moyenne Volumétrie simple 2 à 3 façades
Maison ouvrière modeste	Avant 1945	18%	> 250 kWh/m <sup>2</sup> .an	Maison mitoyenne Petit volume Assainissement souvent nécessaire
Villa des premières extensions urbaines	Années 1930, 1950 et 1960	6%	> 250 kWh/m <sup>2</sup> .an	Moyenne à grande Volumes divers Ponts thermiques fréquents
Immeuble à appartements	Années 1960 et 1970	6%	> 125 kWh/m <sup>2</sup> .an	Toit plat, ossature béton, acier Performance thermique médiocre Chauffage électrique fréquent
Maison en lotissement	Années 70 et 80	13%	> 190 kWh/m <sup>2</sup> .an	Briques, béton Murs creux 4 façades
Appartement dans un bâtiment divisé	Années 70 et 80	6%	> 120 kWh/m <sup>2</sup> .an	Souvent en location Problèmes de qualité
Maison moderne	Années 1990 et 2000	24%	> 120 kWh/m <sup>2</sup> .an	Construction 4 façades Début de la réglementation thermique

Tableau 4 - Les vagues de construction successives (Source : Bourgeois M. et al., 2010)

Entre les années 1990 et 2000, le tableau spécifie que cette période correspond au début de la réglementation thermique. Or, cette information est incomplète et n'est pas totalement juste. En effet, en Région wallonne, la première réglementation thermique est entrée en vigueur en 1985. Elle est ensuite renforcée en 1996. Cette réglementation détermine des exigences d'isolation (du niveau K et des valeurs U maximales) et de ventilation régulant le climat intérieur. Celles-ci dépendent de l'affectation et de la nature des travaux du bâtiment. A Bruxelles, à partir de janvier 2000, un niveau d'isolation thermique global K est imposé. Il concerne les constructions neuves et les rénovations pour lesquelles un permis d'urbanisme est nécessaire. En Flandre, le premier engagement thermique a vu le jour en 1992 et s'est poursuivie en 1993. La **Figure 5** retrace l'historique des réglementations énergétiques des bâtiments en Belgique. [Spies N., 2010]



**Figure 5 - Historique des réglementations énergétiques des bâtiments en Belgique (Sources : Spies N., 2010)**

Revenons aux enjeux de la rénovation au sein des logements. Ils peuvent être divisés en quatre grandes catégories :

### 1. L'ENJEU ENVIRONNEMENTAL ET ENERGETIQUE

En 2010, environ 65 % du parc de bâtiments s'avère non isolé. Ce pourcentage s'explique notamment par la construction avant 1945 de moins de la moitié des résidences actuelles. Etant donné l'importante

consommation d'énergie de ce secteur ainsi que l'objectif de la Belgique de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 15 % et de disposer d'au moins 13 % d'énergie renouvelable d'ici 2020, notre pays doit agir sur son parc immobilier existant. Il dispose en effet d'une capacité d'économies d'énergie plus importante par rapport aux constructions neuves. Toutefois, ces dernières appartiendront au parc de demain et vu qu'elles ne seront pas sujettes à rénovation avant plusieurs dizaines d'années, il importe de veiller à leur conception qui se doit d'être respectueuse de l'environnement. [Bourgeois M. et al., 2010]

## 2. LE DEFI SOCIAL ET ECONOMIQUE

La rénovation du parc immobilier constitue une source d'emplois dans les secteurs de l'urbanisme, de l'architecture et de la construction. Début de l'année 2010, la Région de Bruxelles-Capitale a lancé par ailleurs un projet innovant : « l'Alliance Emploi-Environnement » [Rixen J-F., 2011] principalement depuis le début de la crise économique et financière. Il s'agit d'un domaine prioritaire dans la création d'emplois de qualité dans des secteurs économiques les plus porteurs d'un développement de filières vertes. Le gouvernement wallon et ses 41 partenaires<sup>14</sup> ont également signé leur propre contrat relatif à l'Alliance Emploi-Environnement le 8 février 2012. [Gouvernement Wallon, 2012] Leur but est de stimuler la construction et la rénovation durable de bâtiments de la Région. Ainsi, cette Alliance permet d'agir sur le plan à la fois environnemental et économique en plaçant la performance énergétique des bâtiments wallons à l'origine de création d'emplois. La Wallonie et ses partenaires s'impliquent sur trois objectifs [Gouvernement Wallon, 2012] :

- « Stimuler la demande de rénovation et de construction durable de bâtiments privés et publics ;
- Renforcer l'offre et les capacités du secteur de la construction ;
- Développer les compétences grâce à un vaste programme de formations vertes ».

Ensuite, la rénovation du bâtiment constitue une plus-value. Par conséquent, la valeur de l'investissement génère un bénéfice lors de la vente du bien. [Bronchart S. & Nonet E., 2011]

Enfin, elle permet de diminuer les factures énergétiques notamment grâce à une isolation de meilleure qualité et aux différents dispositifs techniques mis en place (panneaux photovoltaïques,...). [Bronchart S. & Nonet E., 2011] Les dépenses engendrées par ces travaux de rénovation sont en partie réduites par l'introduction de subsides au niveau fédéral et régional [Kints C. & Opdebeeck M., 2011]:

Subsides « rénovations passives » :

- Fédéral : La réduction fiscale s'élève à 850 €/an pendant 10 ans. Elle est doublée dans les cas de rénovation « zéro énergie » et de construction neuve.
- Wallonie : Il n'existe pas de prime particulière pour la rénovation passive.
- Bruxelles : Les aides financières varient de 90 à 130 €/m<sup>2</sup>.

Subsides « rénovations basse énergie » :

- Fédéral : La réduction d'impôt est évaluée à 420 €/an pendant 10 ans. Il en est de même pour les constructions neuves.
- Wallonie : Cette région n'octroie pas de prime spécifique pour la rénovation basse énergie.

---

<sup>14</sup> Ces partenaires sont des « Fédérations d'entreprises de la construction, des organismes d'intérêt public et des services publics, les syndicats, des opérateurs de formation ainsi que des groupements et associations actifs dans le domaine de la construction et du développement durable ».

- Bruxelles : Le soutien financier oscille entre 40 et 110 €/m<sup>2</sup>.

Il faut savoir que le montant des primes accordées dépend non seulement des caractéristiques techniques reprises dans le certificat PHPP mais également du revenu imposable. Par exemple, dans la Région bruxelloise, les primes sont réparties comme suit :

Construction neuve passive et rénovation basse énergie			
	A	B	C
1°	80 €/m <sup>2</sup>	100 €/m <sup>2</sup>	120 €/m <sup>2</sup>
2°	40 €/m <sup>2</sup>	50 €/m <sup>2</sup>	60 €/m <sup>2</sup>
Rénovation très basse énergie			
	A	B	C
1°	110 €/m <sup>2</sup>	130 €/m <sup>2</sup>	150 €/m <sup>2</sup>
2°	70 €/m <sup>2</sup>	80 €/m <sup>2</sup>	90 €/m <sup>2</sup>
Rénovation passive			
	A	B	C
1°	140 €/m <sup>2</sup>	160 €/m <sup>2</sup>	180 €/m <sup>2</sup>
2°	100 €/m <sup>2</sup>	110 €/m <sup>2</sup>	120 €/m <sup>2</sup>
Légende			
A	Revenu imposable > 60 000 €		
B	Revenu imposable entre 30 000 et 60 000 €		
C	Revenu imposable < 30 000 €		
1°	Jusqu'à 100 m <sup>2</sup> /unité d'habitation		
2°	De 101 à 150 m <sup>2</sup> /unité d'habitation		

**Tableau 5 - Primes à la rénovation en Région Bruxelles-Capitale (Source : Le Centre Urbain, 2012)**

Elles ont la possibilité d'être majorées quand les isolants utilisés sont de type naturel. Par contre, ces primes à la rénovation ne sont pas cumulables avec celles concernant les postes énergétiques à savoir l'étude énergétique, l'isolation et la ventilation, le système de chauffage, les énergies renouvelables (chauffe-eau solaire et panneaux solaires photovoltaïques), les investissements énergétiques performants (Cogénération) et les électroménagers performants. En effet, une de ces primes est accordée si un poste et plus précisément, un des sous-postes (par exemple, l'isolation de la toiture) est respecté. Le montant dépend aussi du revenu imposable. [Le Centre Urbain, 2012] A ces primes en Région Bruxelles-Capitale s'ajoute celle relative aux bâtiments exemplaires aussi bien passifs que basse énergie. Elle s'élève à 100 €/m<sup>2</sup>. Les conditions pour octroyer cette aide financière sont expliquées dans la partie « Méthodologie ».

En Région wallonne, les primes à la rénovation n'ont pas encore vu le jour. Il existe uniquement des primes par postes énergétiques.

Malheureusement, depuis la loi votée par le nouveau gouvernement fédéral en décembre 2011, la réduction fiscale concernant les habitations basse énergie et passive a été supprimée ; en voici l'extrait :

« La réduction d'impôt pour les habitations basse énergie, passives et zéro énergie (article 14524, § 2, CIR 92) est supprimée. Les habitations pour lesquelles le certificat maison basse énergie, passive ou zéro-énergie n'a pas été émis au plus tard le 31 décembre 2011, n'entrent plus en ligne de compte pour la réduction d'impôt. La réduction d'impôt continuera toutefois à être accordée pour les habitations certifiées en 2011 ou plus tôt sur la base d'une disposition transitoire (article 535, CIR 92 en projet). Il faut se rendre compte que le traitement administratif de la certification de maisons basse énergie, passives et zéro énergie peut prendre du temps. C'est pourquoi il est proposé de donner aux administrations régionales et

aux institutions agréées pour l'année 2011, un délai jusqu'au 29 février 2012 pour traiter les dossiers introduits au plus tard le 31 décembre 2011 et d'émettre le cas échéant, un certificat maison basse énergie, passive ou zéro énergie. Pour l'application de la réduction d'impôt, ces certificats seront considérés comme étant des certificats émis le 31 décembre 2011, ce qui permettra aux contribuables en question de réclamer la réduction d'impôt. » [La Chambre, 2012]

### 3. L'AMÉLIORATION DU CONFORT

Aujourd'hui, la définition du confort a changé par rapport à celle donnée il y a 50 ans. Les habitants acceptaient les courants d'air, une isolation et une étanchéité insuffisantes et donc des locaux humides (principalement le sous-sol). [Bergeron A., 2000] C'est pourquoi beaucoup de logements d'hier ne répondent plus aux exigences actuelles du confort et présentent différentes détériorations [Bergeron A., 2000] :

- Un béton trop poreux et l'absence de drain des logements datant d'avant 1930 engendrent des fondations en mauvais état.
- La dégradation des structures des habitations de plus de 70 ans due au manque d'étanchéité des parois opaques et des raccords entre ces dernières et le châssis de fenêtre.
- Des planchers soumis à des mouvements variables à cause d'un défaut d'alignement des murs porteurs d'un étage à un autre.
- Des problèmes de condensation causés par l'isolation appliquée sur les bâtiments au début des années 70.

Ce manque de confort est donc une des sources à l'origine de la rénovation. Ce dernier est divisé en quatre catégories : le confort thermique, acoustique, respiratoire et visuel.

Le confort thermique : Sa définition est « *l'état de satisfaction du corps vis-à-vis de l'environnement thermique* ». Il est évalué principalement à partir des échanges par convection et par rayonnement entre l'homme et l'ambiance mais également par conduction et par évaporation de façon à maintenir le corps à 37°C. Il dépend de six paramètres dont les quatre derniers sont mesurables : le métabolisme, l'habillement, la température ambiante de l'air, la température moyenne des parois, l'humidité relative et la vitesse de l'air (généralement inférieure à 0,2 m/s dans les bâtiments). Le confort thermique est lié à la température de confort. Cette dernière est fonction des saisons, de l'individu, de l'activité, de l'habillement, ... Elle est donc délimitée par un intervalle de températures variant selon la période de l'année. La température réellement ressentie par l'homme est caractérisée par la température opérative. Définie comme étant la moyenne de celles de l'air et des parois, celle-ci doit être comprise dans cet intervalle afin d'assurer le confort thermique de l'individu. Ainsi, dans le but de maintenir la température de confort quand la température des parois diminue, il faut, par souci d'équilibre, augmenter la température de l'air et par conséquent, la consommation d'énergie pour le chauffage. Or, l'amélioration du confort thermique peut être obtenue en agissant sur un des échanges cités plus haut. Par exemple, le confort sera assuré si une paroi est davantage isolée thermiquement de manière à augmenter sa résistance thermique. [Oliva J-P., 2011] [de Meester T., 2009] [Sébilo F. & Fillipetti H., 2009]

Le confort acoustique : Les bruits de la route, des voisins, de la musique et autres nuisent à l'épanouissement des habitants. La première mesure à effectuer consiste à prendre connaissance de l'environnement sonore dans lequel se trouve la maison. Le bruit à un instant donné, en un lieu donné est



défini par le niveau sonore en dB dont le seuil de douleur est situé à 80 dB. Quand le niveau sonore devient important, il est essentiel d'effectuer une correction et/ou une isolation acoustique<sup>15</sup> de la pièce afin d'atteindre le confort acoustique désiré. Une autre mesure est donc d'optimiser l'isolation acoustique du bâtiment principalement lorsque celui-ci abrite plusieurs logements ou lorsqu'il se situe dans des zones bruyantes telles que les centres-villes et les zones à proximité d'aéroport, de gare,... Ainsi, les usagers seront aussi bien protégés des bruits extérieurs qu'intérieurs. Une nouvelle norme acoustique *NBN S01-400-1* concernant les immeubles d'habitation dont la demande de permis d'urbanisme a été encodée après le 1<sup>er</sup> février 2008 a introduit des exigences relatives à l'isolation aux bruits aériens, aux bruits d'impacts, des façades et des installations. [IBGE, 2010] [de Meester T., 2009] [Sébilio F. & Fillipetti H., 2009]

Le confort respiratoire : [Architecture et Climat, 2012] [de Meester T., 2009] Les risques d'inconfort respiratoire sont les conséquences d'un air vicié présent dans le local où le taux de ventilation est insuffisant. Un taux de ventilation faible entraîne non seulement une respiration moins active et une certaine fatigue mais également des risques pour l'individu dus à la présence de contaminants et de polluants atmosphériques (germes pathogènes, particules radioactives, poussières et molécules organiques, matières odorantes, gaz carbonique et la fumée de tabac). Pour obtenir une bonne qualité de l'air, il est donc essentiel que le taux de renouvellement d'air soit suffisant. Différentes normes exigent un taux de renouvellement d'air nominal [Architecture et Climat, 2012] [de Meester T., 2009]:

- Article 56 du titre II du Règlement Général pour la Protection du Travail (RGPT) : 30 m<sup>3</sup>/h et par travailleur présent dans le local (pour un volume minimum du local de 10 m<sup>3</sup> par personne).
- Norme belge NBN B 62-003 : 10 m<sup>3</sup>/h et par personne dans les locaux pour non-fumeurs et de 20 m<sup>3</sup>/h et par personne dans les locaux pour fumeurs.
- Norme européenne EN 13779 (Ventilation for buildings - Performance requirements for ventilation and air-conditioning systems, Commission technique CEN/TC 156, 1999) : 36 m<sup>3</sup>/h/pers, 25 m<sup>3</sup>/h/pers et 15 m<sup>3</sup>/h/pers pour respectivement une qualité d'air excellente, standard et faible (mais acceptable).

Le confort visuel : [Architecture et Climat, 2012] [de Meester T., 2009] Le confort visuel requis à un endroit et à un instant donné dépend de l'activité exercée. L'éclairage doit être ajusté en conséquence et garantir une vision claire de l'environnement (objets,...), une sensation lumineuse appréciable et un accomplissement correct des tâches.

#### 4. LE VECU DES HABITANTS D'UNE MAISON PASSIVE

Une enquête menée par la société Thomas & Piron et la Plate-forme Maison Passive a été envoyée à 65 propriétaires d'habitations passives. Parmi eux, 21 ont rempli le questionnaire. Leur âge est compris entre 40 et 50 ans pour 40 % des participants. Concernant leur profession, l'enquête révèle que la plupart exerce dans un domaine technique (ingénieur, architecte, électricien, chauffagiste,...) ou impliquant la santé tel que infirmière. [le Hardy M-C., 2012]

---

<sup>15</sup> La correction acoustique est « un traitement de la capacité d'absorption et de réflexion d'une ou de plusieurs parois en agissant sur leur texture, leur relief, leur géométrie et les matériaux de revêtement ». [IBGE, 2010]  
L'isolation acoustique est « un traitement de la transmission du bruit au travers des parois en agissant sur la structure même de celle-ci ». [IBGE, 2010]

L'idée d'habiter une maison passive est arrivée dès la conception du projet de construction ou de rénovation et non au cours du projet. Les raisons de la démarche vers le passif sont les suivantes : « ne plus être dépendant des augmentations des coûts de l'énergie », « diminuer notre empreinte écologique » et « le confort (température égale dans toutes les pièces) ». En ce qui concerne leurs craintes, elles se tournent vers la qualité du résultat et l'aspect financier car construire ou rénover passif engendre un surcoût par rapport à une maison traditionnelle.

L'enquête a dévoilé que les participants sont satisfaits de leur maison. Les points positifs sont le confort thermique ainsi que la faible consommation énergétique ; les points négatifs sont une faible surchauffe en été<sup>16</sup> et un air intérieur trop sec. [le Hardy M-C., 2012]

### 3.2 LES PRINCIPES DE BASE

La rénovation d'une habitation consiste préalablement en un procédé de questionnement et d'analyse long et rigoureux avant d'entamer les travaux proprement dits, d'autant plus quand celle-ci doit atteindre une performance énergétique poussée. Tout d'abord, il faut se fixer des objectifs : la rénovation sera-t-elle légère ? lourde ? basse énergie ? très basse énergie ? passive ? Contrairement à la construction d'une maison neuve, la nécessité d'étudier les caractéristiques de l'habitation est sans appel afin de s'assurer que ces objectifs puissent être atteints. Ainsi, avant de débiter des travaux de rénovation, il est nécessaire de réaliser un bilan du bâtiment de manière à comprendre le bâti existant. D'après Bourgeois et al. [Bourgeois M. et al., 2010], quatre points indispensables doivent être développés :

- Un bilan global. Il consiste à décrire les caractéristiques générales du bâtiment telles que le type, l'implantation, l'orientation, la surface et le volume chauffé, l'année de construction, les contraintes urbanistiques et les composants de l'enveloppe.
- Un bilan énergétique. Une première approche est d'analyser l'orientation du bâtiment ainsi que la compacité, le niveau d'isolation, les ponts thermiques présents, l'étanchéité à l'air, la ventilation, le système de chauffage et la surchauffe éventuelle. Ensuite, ce bilan peut être approfondi en effectuant diverses mesures via des techniques comme la thermographie, le Blower-Door test,...
- La priorité des tâches à effectuer. Elle dépend non seulement des objectifs fixés dès le début par le maître d'ouvrage pour atteindre un des standards mais également du budget financier.
- La planification des travaux. Elle va permettre au maître de l'ouvrage et aux différents corps de métiers d'exercer cinq fonctions lors de leurs actions respectives : prévoir, organiser, commander, coordonner et contrôler. Le planning assure le bon déroulement de la construction d'un projet tel que le respect des délais, l'anticipation d'incidents ainsi que la disposition des ressources en temps voulu.

Une fois les bilans réalisés et les objectifs fixés, la rénovation peut débiter. D'après le « Passivhaus Institut », la rénovation basse énergie et passive s'appuie sur deux philosophies. La première est « *l'optimisation de ce qui est indispensable* ». Il s'agit d'améliorer la performance des éléments de base dans l'habitation à savoir l'enveloppe, les fenêtres et la ventilation. La seconde philosophie est « *la minimisation des pertes qui prime la maximisation des gains* », c'est-à-dire conserver un maximum de chaleur à l'intérieur de l'habitation. [CEPHEUS, 2006] Ces deux philosophies sont davantage explicitées ci-

<sup>16</sup> Ce point négatif est constaté chez les personnes habitant une maison passive avant 2009, année lors de laquelle le critère relatif à la surchauffe est introduit.

dessous en développant brièvement les principes de base dans le but de rénover des bâtiments résidentiels selon les standards basse énergie et passif. Les livres « *Rénover en basse consommation* » de Bourgeois et al [Bourgeois M. et al., 2010] et « *Maisons passives* » de Guerriat [Guerriat A., 2008] ont été utiles pour l'explication de ces principes de base.

### LE SOLAIRE PASSIF

En rénovation, contrairement à l'implantation du bâtiment, seul l'aménagement des fonctions peut être modifié. Pour profiter des apports solaires, il est préférable de placer les espaces de vie (séjour,...) au sud et les chambres au nord. De plus, l'orientation des fenêtres à privilégier est le sud car elle permet une économie de chauffage des locaux d'environ 40 %. Cependant, ce n'est pas parce que privilégier cette orientation n'est pas possible dans un projet que ce dernier ne peut pas atteindre une performance énergétique élevée. D'autres points (ci-après) doivent dès lors compenser ou compléter cet aspect.

### LA COMPACTITÉ DU BÂTIMENT

Les déperditions thermiques dues à la différence entre la température intérieure et extérieure dépendent aussi bien des échanges par conduction au droit de l'enveloppe que des échanges par rayonnement et par convection entre cette enveloppe et l'environnement extérieur. Les déperditions sont donc proportionnelles à la surface d'échange. Ainsi, pour un même volume chauffé, il est important de limiter la surface de l'enveloppe et donc améliorer sa compacité. Cette dernière est, dès lors, meilleure pour une maison mitoyenne à condition que les habitations voisines soient évidemment occupées. Lors de l'étape de conception d'une rénovation qui implique le changement du volume, multiplier les annexes est donc à éviter afin d'obtenir un volume le plus compact possible.

### L'INERTIE

L'inertie thermique d'un bâtiment est sa capacité à réguler naturellement le climat intérieur en stockant la chaleur et en la restituant petit à petit plus tard dans la journée (déphasage thermique). Une forte inertie permet ainsi tout au long de l'année d'amortir les variations de la température intérieure par rapport à celles de la température extérieure. Elle est caractérisée par deux paramètres :

- La diffusivité :  $\alpha = \lambda / (\rho \cdot c)$  [m<sup>2</sup>/s]  
Elle « *détermine la vitesse avec laquelle la température d'un matériau va évoluer en fonction des sollicitations thermiques extérieures* » [Architecture et Climat, 2012]
- L'effusivité d'un matériau :  $E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$  [J.K<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>. S<sup>-1/2</sup>]  
Il s'agit de « *sa capacité à échanger de l'énergie thermique avec son environnement* » [Architecture et Climat, 2012]

Où :

- $\rho$  la masse volumique du matériau en [kg.m<sup>-3</sup>]
- $c$  la capacité thermique massique du matériau en [J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>]
- $\lambda$  est la conductivité thermique des matériaux [W. K<sup>-1</sup> m<sup>-1</sup>]

Une maison passive en bois ne voit pas sa température intérieure s'élever rapidement contrairement à une maison traditionnelle en bois. Cette constatation s'explique par l'exécution d'une enveloppe fortement étanche et isolée car les isolants, principalement ceux dits "écologiques", possèdent une diffusivité faible et une effusivité importante<sup>17</sup>. Coupler ces caractéristiques à la mise en œuvre de matériaux lourds et denses tels qu'une dalle de sol en béton et de l'enduit à base d'argile permet d'améliorer l'inertie du bâtiment et

<sup>17</sup> Une diffusivité faible et une effusivité importante sont les conséquences d'une capacité thermique élevée de l'isolant écologique.

éviter ainsi les surchauffes en été. Les variations intérieures de la température sont également amorties en hiver grâce à l'isolation, à l'étanchéité à l'air et à la présence d'une ventilation double flux.

### L'ISOLATION

Le but de l'isolation est de réduire les besoins en chauffage et de préserver le confort des habitants. Car, en effet, ce dernier fait défaut lorsque la différence entre la température ambiante de la pièce et la température de la paroi est supérieure à 3°C.

Les trois caractéristiques qui détermineront l'efficacité d'une isolation thermique sont : son épaisseur, une étanchéité à l'air performante et l'élimination des ponts thermiques pour assurer sa continuité. Elle s'applique sur les différentes parois constituant les surfaces de déperdition thermique les plus importantes à savoir celles de l'enveloppe (sol, murs, toiture, portes et châssis de fenêtres). Cette efficacité dépend du coefficient de transmission thermique U, exprimé en  $W/m^2K$ , du (des) matériau(x) composant la paroi : elle augmente quand la valeur U diminue.

#### *Isolation des murs extérieurs*

Son but est d'améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe. Différentes techniques de mise en œuvre existent et sont expliquées ci-dessous :

- Isolation par l'extérieur avec enduit : elle convient pour les parements enduits ou en briques. Une paroi isolante est ensuite collée ou vissée sur ces derniers et enfin recouverte de deux nouvelles couches d'enduit.
- Isolation par caisson suspendu à l'extérieur des murs : le caisson est rempli d'isolant entre les montants. Ce système s'adapte aux parois verticales exposées au soleil et aux intempéries.
- Isolation par l'intérieur : elle offre une grande diversité dans le choix de l'isolant et dans la mise en œuvre.
- Isolation dans la coulisse : elle consiste à placer l'isolant dans la coulisse dans les cas de façades à doubles murs. Pour que le système soit performant, il faut s'assurer que la maçonnerie soit étanche à l'eau mais perméable à la vapeur d'eau.

#### *Isolation de la toiture*

L'efficacité de cette rénovation ne doit pas porter uniquement sur l'isolation même mais également sur la sous-toiture qui la protège des intempéries et sur le freine-vapeur servant de protection contre la condensation de la vapeur au sein de l'isolant même. Cet isolant peut être placé à différents endroits au sein de la toiture :

- Isolation entre chevrons : Par l'intérieur ou par l'extérieur, elle est mise en place par soufflage ou par plaque semi-rigide.
- Isolation sous les chevrons si la place est suffisante : Parfois, elle complète l'isolation sur chevrons.
- Isolation sur les chevrons à condition de démonter la sous-toiture et la couverture : Par cette technique, la continuité extérieure de l'isolant est assurée.
- Renforcement de l'isolation d'une toiture plate : L'isolant doit être protégé de l'ambiance extérieure par une étanchéité et de l'ambiance intérieure par un pare-vapeur.

#### *Isolation du plancher du grenier*

Dans les cas où le grenier n'est pas utilisé comme espace de vie, le plancher de ce dernier peut être isolé à la place de la toiture.

### *Isolation des sols*

Une solution consiste à remplacer la dalle de sol par une autre dalle qui, elle, sera isolante. Une alternative à la destruction de la dalle existante est d'isoler le plafond des caves. Dès lors, la continuité de l'isolant n'est pas assurée au droit des murs de refend.

### *Portes et fenêtres*

Afin d'atteindre des performances énergétiques supérieures, il faut veiller à l'étanchéité du châssis et au pouvoir isolant du vitrage. En général, dans une maison basse énergie, le vitrage placé est un double vitrage à basse émissivité tandis que dans une habitation passive, il s'agit d'un triple vitrage basse émissivité<sup>18</sup>.

Ainsi, la mise en œuvre de l'isolation est un travail qui doit être réalisé avec soin par l'entrepreneur pour obtenir les résultats escomptés.

### **LES PONTS THERMIQUES**

Un pont thermique est défini comme une discontinuité de l'isolation au sein de l'enveloppe abritant les fonctions chauffées du bâti. Il résulte généralement soit d'une mauvaise conception, soit d'un défaut de mise en œuvre. Les ponts thermiques sont donc des zones importantes de déperdition au niveau des nœuds mur/plancher, mur/toiture, mur/mur, mur/châssis mais également au niveau des terrasses (ou balcon) en béton, des caissons de volets, des canalisations, des colonnes ou poutrelles.

Les déperditions thermiques sont d'autant plus importantes quand la vapeur d'eau contenue dans l'air se condense ce qui favorise la formation de moisissures. Il est donc essentiel de planifier les détails de leur mise en œuvre car ces derniers ont un impact considérable sur l'efficacité de l'isolation.

Afin d'éliminer les ponts thermiques, l'isolation doit être placée de manière continue le long de l'enveloppe. Toutefois, quand il n'est pas possible de les éliminer, il faut les réduire au maximum soit en « emballant » par exemple les éléments (terrasses, balcons en béton,...) soit en renforçant l'isolation aux endroits où le coefficient de transmission thermique est trop élevé. Ces différentes techniques seront illustrées et expliquées davantage dans les études de cas.

### **L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR**

Une bonne herméticité de l'enveloppe du bâtiment présente différents avantages : il réduit les courants d'air à l'intérieur du bâtiment, il améliore l'efficacité de l'isolation et de la ventilation et permet tout de même le transfert vers l'extérieur de la vapeur d'eau. L'étanchéité à l'air, complémentaire de l'isolation, doit être assurée aux mêmes endroits que cette dernière car les isolants thermiques ne sont pas tous étanches à l'air ce qui pourrait engendrer un bilan global négatif de la performance énergétique du bâtiment, conséquence de courants de convection au sein de l'isolant. De plus, la mise en œuvre de l'étanchéité requiert aussi un certain savoir-faire. A cette fin, la membrane d'étanchéité utilisée est un pare-vapeur ou un freine-vapeur. Le premier empêche le passage de l'eau au travers de la paroi tandis que le second régule le flux de la vapeur d'eau.

---

<sup>18</sup> Le transfert de chaleur par convection est limité par la présence d'un gaz noble, l'argon par exemple, entre les vitres. Le transfert par rayonnement est quant à lui réduit par l'utilisation de verre à faible émissivité, c'est-à-dire des verres « sur lesquels a été déposée une couche invisible d'oxydes métalliques qui laissent passer la lumière extérieure, mais bloquent le rayonnement de chaleur provenant de l'intérieur de la maison ».

L'étanchéité à l'air est une des exigences à atteindre dans le standard passif. Selon la norme NBN EN 13829, pour garantir son respect, on procède à un test de pressurisation appelé le « Blower-Door-Test ». Ce test mesure le taux d'infiltration de m<sup>3</sup> d'air par heure sous une pression de 50 Pascal.

### LA VENTILATION

La mise en œuvre des différents principes expliqués ci-dessus permet d'obtenir un volume isolé et étanche à l'air. Au vu de ces caractéristiques, il est essentiel de contrôler la ventilation du bâtiment afin d'assurer le renouvellement de l'air qui ne sait plus se faire de manière naturelle au travers des défauts d'étanchéité présents dans les anciens bâtiments non rénovés. En effet, l'apport d'air frais garantit non seulement le confort et la qualité de l'air intérieur mais apporte également l'oxygène nécessaire et évacue l'humidité, le CO<sub>2</sub> et les polluants domestiques. Pour assurer ce confort, l'exigence à respecter pour un local est un débit nominal de 3,6 m<sup>3</sup>/h d'air par m<sup>2</sup>. Les bâtiments résidentiels doivent répondre à la réglementation basée sur la norme NBN D50-001 [CSTC, 1999]. Pour rappel, elle définit quatre modes de ventilation dont le principe de base est identique à savoir : l'alimentation en air frais dans les locaux dits « secs » (salon, salle à manger, bureau, chambre,...), l'évacuation dans les locaux « humides » (salle de bain, buanderie, cuisine,...) et le transfert de l'air via les couloirs [CSTC, 1999]. Le tableau ci-dessous reprend les quatre systèmes de ventilation et leurs avantages et inconvénients.

Système	Avantages	Inconvénients
<b>Système A</b> Apport et évacuation d'air naturel	Aucun investissement supplémentaire Mise en œuvre simple Pas de frais d'exploitation	Débit non contrôlable Qualité de l'air peu contrôlable et dépendante du comportement des occupants Energie non récupérée
<b>Système B</b> Apport d'air mécanique et évacuation naturelle (insufflation)	Filtration possible de l'air entrant Débit maîtrisable	Encombrement dans les locaux secs Energie non récupérée
<b>Système C</b> Apport d'air naturel et évacuation mécanique (extraction)	Système peu coûteux à l'exploitation Débit d'évacuation contrôlable	Encombrement dans les locaux humides Energie non récupérée
<b>Système D</b> Apport d'air mécanique et évacuation mécanique (extraction)	Système très maîtrisable Filtration et atténuation acoustique Récupération de chaleur possible Economie d'énergie Contrôle de la qualité de l'air	Coût d'installation Encombrement, entretien et maintenance Perte d'efficacité quand les fenêtres sont ouvertes

**Tableau 6 – Avantages et inconvénients des systèmes de ventilation (Source : Bourgeois M. et al., 2010)**

Dans le cas où l'étanchéité à l'air est inférieure à 1,5 vol/h et où une isolation correcte est assurée au sein du bâtiment, il est conseillé d'utiliser une ventilation mécanique double flux pour maîtriser le flux d'air. Dans ce cas, une récupération de chaleur sur l'air extrait est fort utile pour réduire les consommations énergétiques du bâtiment.

### LA SURCHAUFFE

En hiver, la stratégie est de conserver la chaleur à l'intérieur et de profiter un maximum de l'apport solaire, principalement des surfaces vitrées situées au sud. Par contre, en été, cet apport solaire peut entraîner un

risque de surchauffe dans les locaux et donc un inconfort. Il faut dès lors agir dès la conception en prévoyant, par exemple, des volets, des casquettes, des pare-soleil végétaux...

### LE SYSTÈME DE CHAUFFAGE

Les besoins en chauffage sont revus à la baisse dans une rénovation basse énergie ou passive. Le système de chauffage doit donc être dimensionné en fonction de la nouvelle température de consigne.

Les chaudières actuelles au gaz et au mazout sont caractérisées par un meilleur rendement (chaudière au gaz ECS haute performance, par exemple). Dans une rénovation énergétique, elles peuvent être couplées à un dispositif solaire thermique ou à une pompe à chaleur. Il est important de noter qu'une maison passive ne comporte pas de système de chauffage traditionnel car il est surdimensionné par rapport aux besoins d'énergie requis. L'apport de chaleur provient ainsi d'un appoint tel qu'un poêle à pellets.

## 3.3 LES INTERVENTIONS STRUCTURELLES

### ANALYSE DE LA STRUCTURE EXISTANTE

Après avoir analysé les quatre points indispensables avant le début des travaux, à savoir le bilan global, le bilan énergétique, la liste des tâches à effectuer par priorité et la planification des travaux, une dernière mesure essentielle consiste en l'étude de la structure existante. A cette fin, il faut prendre connaissance préalablement des différents systèmes constructifs en Belgique et plus précisément, de la composition des parois extérieures suivant l'époque à laquelle le bâtiment est construit. [Branders A. et al., 2010] Cette étude est importante car comme il a été expliqué avant, un des principes de base d'une rénovation basse énergie ou passive est d'améliorer la performance énergétique de l'enveloppe et par conséquent, des murs extérieurs. Ils constituent donc des éléments complexes caractérisés par une grande surface de déperdition en contact avec l'environnement extérieur et des parois percées de baies. De plus, ils sont caractérisés par une fonction structurelle, un comportement hygrothermique à analyser et des contraintes urbanistiques et/ou patrimoniales. En Belgique, il existe principalement cinq modes constructifs utilisés pour la construction résidentielle [Branders A. et al., 2010] :

- Les murs massifs : Répandus du 18<sup>e</sup> jusqu'au début du 20<sup>e</sup> siècle au sein d'habitations de type vernaculaire, ces murs sont des composants verticaux épais réalisés en matériaux locaux (pierre, torchis,...). Ils sont généralement constitués de trois couches c'est-à-dire un enduit mural à base de chaux côté intérieur de l'habitation, de moellons de pierre naturelle et d'un éventuel revêtement extérieur à base de chaux ou d'un bardage [Architecture et Climat, 2012].
- Les murs pleins en briques : Ils ont fait leur apparition lors de la révolution industrielle et sont ainsi composés de nouveaux matériaux tels que le béton, l'acier et la fonte.
- Les murs creux « première génération » : Datant d'après 1945, ils sont caractérisés par la séparation du rôle structurel assuré par des éléments en béton ou en maçonnerie et de la fonction de protection garantie par le parement. Ces deux composants sont dissociés par un vide, une coulisse ventilée servant de rupture capillaire et d'évacuation de l'eau.
- Les murs creux « deuxième génération » : A partir des années 70, des tiges métalliques placées ponctuellement solidarisent le parement à la maçonnerie.
- Les murs creux isolés : Ce n'est que dix ans plus tard qu'apparaît une isolation au sein du mur. Celle-ci occupe la totalité ou une partie de la coulisse ventilée.

Dans notre pays, le mode constructif le plus présent est le mur creux. En Wallonie, ils représentent une part de 52 % contre 48 % pour les murs massifs. Le matériau de parement majoritairement utilisé est la terre cuite (environ 72 %). En ce qui concerne l'isolation, principalement d'origine synthétique ou minérale, elle est placée en général du côté extérieur de la maçonnerie dans les habitations neuves contrairement aux logements rénovés. [Branders A. et al., 2010]

### IMPACTS DE LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Certaines rénovations engendrent des interventions structurelles lourdes afin de répondre à des exigences énergétiques. Benoit Meerseman, ingénieur en stabilité JZE & Partners explique sa vision concernant ce type de rénovation [Willem J. & Deprez B., 2010] : « *Aujourd'hui, on est dans l'expérimentation, autant en termes de structure que pour la performance énergétique ; il faut observer maintenant comment ces bâtiments se comportent. Pour le reste, la rénovation reste difficile parce que c'est chaque fois une aventure en soi ; chaque cas est unique* ». Il s'agit d'un travail relativement neuf en Belgique ; il n'existe donc pas encore de solutions exemplaires. Toutefois, une série d'expériences permet de prendre confiance en quelques solutions structurelles qui peuvent être reproductibles dans certaines mesures dépendantes de la situation existante. Le problème selon lui est qu'avec toutes les informations disponibles sur la performance énergétique, le maître d'ouvrage s'engage dans la rénovation sans avoir suffisamment réfléchi : « *La mise en place de primes dédiées à la rénovation très basse énergie risque de créer des réflexes malheureux où, pour réduire un pont thermique et obtenir une prime, on prendrait des décisions irréfléchies d'un point de vue structurel...* ». Il illustre cette problématique par cet exemple : « *Pour moi, le plus grand risque est lié, pour un matériau, à une mise en œuvre contraire à son principe de fonctionnement structurel. Par exemple, on sait qu'une maçonnerie tient d'autant mieux qu'elle est refendue, stabilisée par des angles, tenue en tête, etc. Or, dans les bâtiments à basse énergie, on rencontre de plus en plus des pans de murs solitaires, dissociés des refends ou des mitoyens... Cela n'est pas sain et ça pose aux architectes des problèmes difficiles à surmonter en termes de ponts thermiques* ». Il faut donc réaliser tout un travail de collaboration pendant toutes les phases de la rénovation non seulement avec l'architecte, le bureau spécialisé dans l'étude énergétique, le maître d'ouvrage et les entrepreneurs mais également avec l'ingénieur en stabilité qui est indispensable dans ce type de rénovation lourde (Figure 6). Cette approche est semblable, à un intervenant près, l'ingénieur, à la Building Team appelée aussi démarche de projet intégré. [Willem J. & Deprez B., 2010]

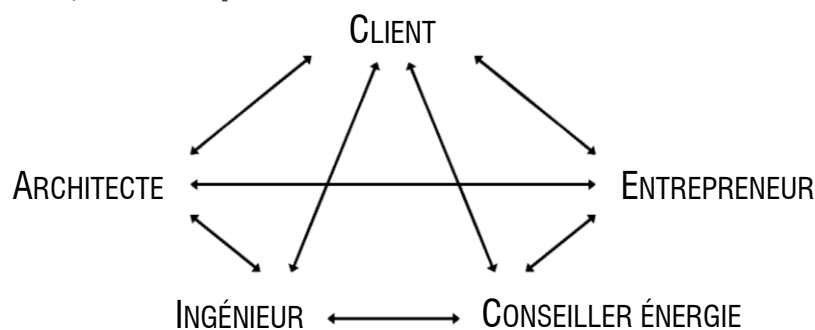


Figure 6 – Démarche intégrée d'un projet de rénovation lourde (Figure réalisée par l'auteur depuis la source : Guerriat A., 2008)



Habiter

Environnement

Objectifs

**Rénovation**

## INTRODUCTION

---

Enjeux

Climat

**Société**

Défi

## ETAT DES LIEUX

---

Maçonnerie

Etanchéité

Détails

**Isolation**

## ANALYSE DE CAS

---

Standard

**Impacts**

Structure

Intentions

## BILAN DE L'ANALYSE

---

Conception

Coût

**Outil**

Non résidentiel

## CONCLUSION & PERSPECTIVES

---

# ANALYSE DE CAS

## 1 INTRODUCTION DE L'ANALYSE

### 1.1 OBJECTIFS ET CHAMPS DE L'ÉTUDE

Ce travail de fin d'étude se penche sur un sujet actuel : la rénovation basse énergie et passive. Ce sujet est délimité en terme de zone géographique et de secteur d'activité. Il est, en effet, abordé dans le domaine du secteur résidentiel belge car il implique chacun d'entre nous. De plus, il représente 73 % de la consommation totale d'énergie primaire des bâtiments de Belgique.

Le sujet est ensuite précisé par une question complexe traitée dans la deuxième et troisième partie de ce travail. La problématique rencontrée dans la rénovation énergétique a été abordée par Benoit Meerseman dans le point précédent : « Impacts de la rénovation énergétique ». Il s'agit du manque de connaissance du maître d'ouvrage face aux aspects structurels à étudier. En effet, lors d'une telle rénovation, la performance énergétique des bâtiments est devenue un objectif prioritaire à un point tel que le maître d'ouvrage n'a pas conscience des modifications structurelles que cette dernière peut générer. Le but de ce travail est donc d'en dégager l'ensemble des interventions structurelles nécessaires pour atteindre le standard basse énergie et passif lors d'une rénovation résidentielle. La figure ci-dessous illustre le champ de l'étude.

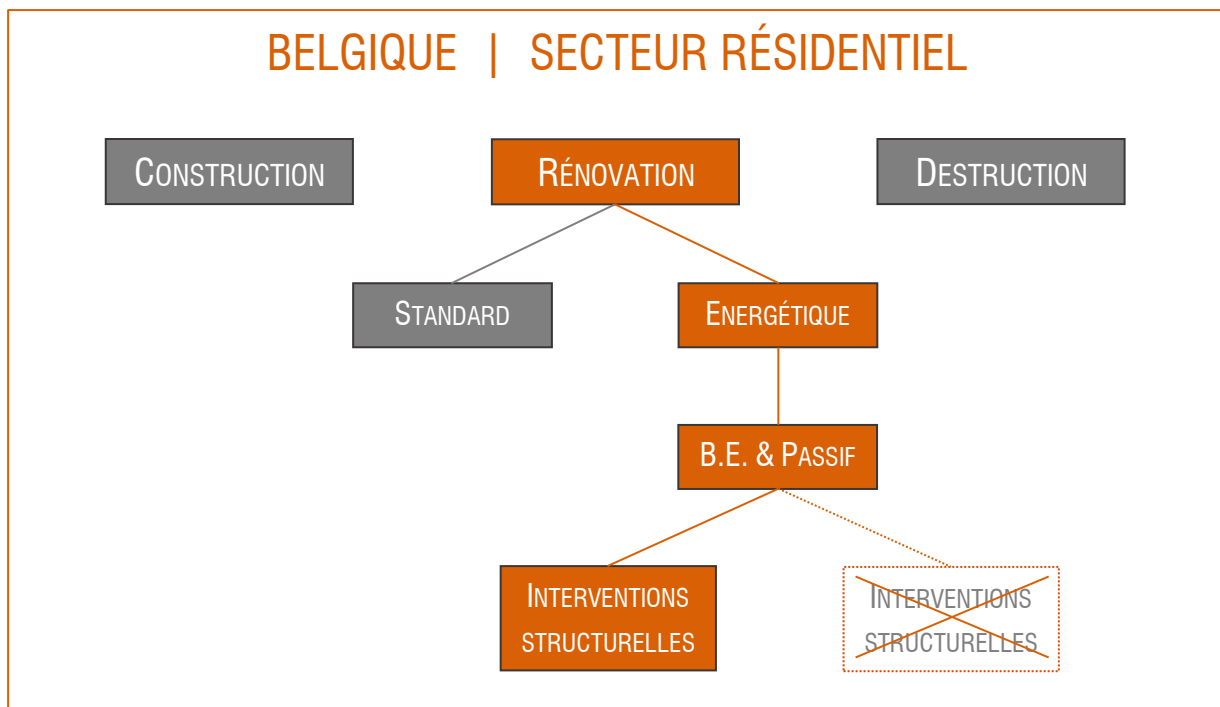


Figure 7 – Champ de l'étude

Ce sujet précis est innovant, il n'a jamais été traité dans des livres ou dans des articles. La problématique se doit d'être confrontée sur terrain. Elle est ainsi développée à partir d'une série d'expériences qui constitue les analyses de cas.

## 1.2 MÉTHODOLOGIE

La méthodologie décrit le processus adopté pour l'étude des cas. Elle permet d'obtenir une analyse de base identique pour chacun d'entre eux. Les résultats pourront ensuite être confrontés permettant ainsi, dans la troisième partie de ce travail, « Bilan de l'analyse », de classer les interventions structurelles rencontrées suivant les types de rénovations et les types de parois.

Les étapes de la méthodologie sont les suivantes :

- Les cas sont sélectionnés parmi plusieurs bases de données à savoir <sup>19</sup>: des fiches de projets de rénovation, un inventaire des bâtiments passifs certifiés en Wallonie et à Bruxelles, des info-fiches bâtiments exemplaires ainsi que le livre « Vert Bruxelles ! » [Bruxelles Environnement, 2009]. Ainsi, quand une description aborde un aspect structurel, le cas est sélectionné. Certaines fiches des cas étudiés n'abordaient pas la question structurelle. Ils ont donc été choisis par l'intermédiaire de bureaux ayant connaissance de ces projets.

Les fiches de projet de rénovation sont le fruit de la recherche réalisée dans le cadre du projet LEHR (Low Energy Housing Retrofit). Ce projet est mené par la collaboration d'équipes de recherche : La Passiefhuis-Platform vzw, la Plate-forme Maison Passive a.s.b.l., l'UCL et le CSTC. Il publie les rénovations performantes afin que ces données servent aux propriétaires et aux professionnelles de la construction qui voudraient se lancer dans ce défi.

Les bâtiments passifs certifiés en Wallonie et à Bruxelles sont listés dans un inventaire établi par la Plate-forme Maison Passive a.s.b.l. Sa mission est notamment d'encourager l'augmentation du nombre de bâtiments passifs.

Les info-fiches bâtiments exemplaires sont développées par l'administration de l'environnement et de l'énergie de la Région de Bruxelles-Capitale. Une de ses missions est de sensibiliser la population aux bâtiments exemplaires par l'obtention d'une prime s'élevant à 100€/m<sup>2</sup> lorsque les bâtiments répondent aux critères de l'appel à projets. Ces critères concernent l'énergie, l'auto-construction, la rentabilité, la reproductibilité et la qualité architecturale. Ces fiches sont demandées au stade de la conception. Ainsi, certains des cas préalablement choisis ont dû être écartés une fois les intervenants contactés car la description de la fiche ne concordait pas avec les travaux exécutés. Il serait intéressant de remettre ces fiches à jour une fois la rénovation terminée car un « fossé » sépare la théorie (la conception) de la pratique (l'exécution).

- Une fois un cas sélectionné, les intervenants de la rénovation indiqués dans la fiche sont contactés : le nom de l'architecte est mentionné dans toutes les fiches contrairement au bureau de stabilité et au bureau d'étude énergétique. Ils n'étaient pas spécifiés pour tous les cas. L'architecte m'a alors fourni leur coordonnées. Ce premier contact permet de prendre rendez-vous avec le (les) intervenant(s).
- Les informations relatives au projet de rénovation sont alimentées par le (les) interview(s) du (des) acteur(s) du projet. Les documents fournis par ces derniers illustrent et complètent les données extraites de l'interview. Malgré l'importante disponibilité de la plupart des intervenants à m'aider

<sup>19</sup> Les services à l'origine de ces bases de données sont brièvement expliqués après ce paragraphe. Les sources de ces informations sont les sites internet relatifs à ces services.

dans ce travail, la précision des analyses dépend tout de même de la quantité et de la qualité des informations que ceux-ci m'ont accordées.

- Quand le bâtiment était toujours en cours de rénovation, l'architecte m'a permis de le visiter avec lui. Ces visites ont permis de pousser l'étude plus loin.
- Les cas qui impliquent des changements structurels sont au nombre de cinq. Ces derniers comptent chacun plusieurs interventions au niveau de la structure, permettant ainsi d'en établir une liste. Chacun des cinq cas est étudié en profondeur en analysant les points suivants :
  1. Fiche d'identité ;
  2. Présentation du bâtiment étudié ;
  3. Programme fonctionnel et relevé du bâtiment rénové ;
  4. Système constructif, matériaux et composantes de l'enveloppe : Description avant rénovation & Description après rénovation.  
Le point 4 est celui qui sera développé davantage car il pointe les travaux de la rénovation impliquant modifications structurelles pour atteindre les performances énergétiques souhaitées.
  5. Descentes de charges. Ce point permet de comparer notamment les charges linéaires sur les fondations pour les cas avant et après rénovation.

Il est important de signaler que d'autres bâtiments sont évoqués dans la partie « Bilan des interventions structurelles ». Ils ne sont pas analysés en profondeur comme les cinq cas car soit leur structure n'a pas été modifiée pour des raisons énergétiques, soit il s'agit de considérations structurelles qui sont toujours à l'étude dans un bureau de stabilité et qui n'ont pas encore été appliquées à un bâtiment.

Leurs analyses sont toutefois nécessaires dans le but d'élargir les critères de la recherche. Ils permettront ainsi de percevoir la frontière entre une rénovation nécessitant des interventions structurelles et une autre n'en nécessitant pas. Nous pourrions ainsi répondre aux questions suivantes :

*Dans quels types de rénovation pouvons-nous rencontrer ces interventions ? Dans quelles mesures peuvent-elles être évitées ? Quelles en sont les conséquences, les impacts ?,...*

## 1.3 PRÉSENTATION DES CAS

Les cas étudiés proviennent de la Région wallonne et de la Région Bruxelles-Capitale :

1. Maison mitoyenne | Eupen
2. Maison mitoyenne | Schaerbeek
3. Maison en cœur d'îlot | Schaerbeek
4. Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek
5. Bâtiment en zone protégée | Forest

Tous ces bâtiments sont résidentiels à l'exception du dernier cas. Il est le seul dont la structure existante est en béton armé. Il était donc intéressant de l'analyser car plus tard, il se pourrait qu'un bâtiment résidentiel en béton fasse l'objet d'une rénovation passive ou basse énergie.

Ces bâtiments sont mitoyens ou semi-mitoyens. L'étude est orientée de la sorte car ils impliquent des contraintes supplémentaires par rapport aux bâtiments quatre façades. De plus, les rénover revient à exécuter deux fois les travaux réalisés sur un mur non mitoyen d'un bâtiment semi-mitoyen.

Il est important de signaler que les détails, les schémas (figures et tableaux) et les photos dont les sources ne sont pas spécifiées sont réalisés par l'auteur de ce travail.

### INTERVIEWS

Pour rappel, les analyses de cas sont réalisées à partir d'interviews auprès des intervenants des différents projets ; la plupart travaillant dans des bureaux d'architecture, de stabilité et d'étude énergétique. D'autres personnes ont également été contactées pour leurs expériences dans le domaine de la rénovation énergétique. L'ensemble de ces personnes sont citées ci-après : Monsieur Olivier Alexandre, Monsieur Thomas Goetghebuer du bureau MATRIciel, Monsieur Yves Piron, Monsieur Marc Opdebeeck du bureau Modelmo, Monsieur Henz du bureau FHW Architectes, Monsieur Draps, Madame Julie Willem du bureau A2M, Monsieur Benoit Meersseman du bureau JZH & Partners, Monsieur Vincenzo Vita du bureau Imhotep Engineering, Monsieur Quentin de Hulst de Luwoge Consult et Monsieur Gêrôme Forthomme du bureau Brouae.

### DESCENTES DE CHARGES

Les interventions au niveau de la structure induisent des impacts énergétiques mais également structurels. Une fois mis en évidence, ils sont illustrés notamment par la détermination des descentes de charges. Il faut toutefois souligner que ces calculs sont uniquement réalisés pour illustrer les conséquences des interventions structurelles car il s'agit de calculs effectués cas par cas et qui ne peuvent pas être extrapolés à l'ensemble des rénovations. Or, l'objectif de ce TFE, pour rappel, est de généraliser à partir d'expériences existantes les interventions structurelles qu'il est possible de rencontrer lors de rénovation basse énergie ou passive et ce, sous la forme d'un outil d'aide à la rénovation.

## 2 MAISON MITOYENNE | EUPEN

### 2.1 FICHE D'IDENTITÉ



Photo 1 – Façade côté rue après rénovation



Photo 2 – Façade côté jardin après rénovation

**PROGRAMME :** Maison unifamiliale  
**RÉNOVATION :** Rénovation en profondeur d'une maison mitoyenne datant du 19<sup>e</sup> siècle. Rénovation au standard passif (15 kWh annuel par m<sup>2</sup> en besoin de chauffe).  
**IMPLANTATION :** Heggenstrasse 59, 4700 Eupen  
**Surface du bâtiment :** 260 m<sup>2</sup>

**MAÎTRES D'OUVRAGE :** M. Henz et Mme Noifalisse  
**Architecte :** Bureau d'architecture fhw Architectes

**EXÉCUTION :** 2006-2007

**COÛTS DE CONSTRUCTION HTVA, HORS PRIMES :**  
 170000 € (hors achat de la maison)  
**PRIX TOTAL PAR M<sup>2</sup> :** 951 €/m<sup>2</sup>

### 2.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

Les sources telles que les fiches de bâtiments exemplaires du projet LEHR [Plate-forme Maison Passive & Architecture et Climat, 2010] et le livre « Maisons passives » [Guerriat A., 2008] ont permis de récolter les informations ci-dessous.

#### Général

Dans le centre d'Eupen, un couple a acheté cette maison qui était au départ une habitation provisoire, le temps de trouver le terrain idéal sur lequel bâtir. La maison nécessitait quelques petits travaux et, au fil du temps, ils ont décidé de se tourner vers le choix d'une rénovation passive.

#### ENERGIE

La consommation de chauffage après la rénovation du bâtiment atteint une valeur inférieure à la valeur maximum du standard passif, à savoir 10 kWh/m<sup>2</sup>.an. Pour arriver à cette consommation, outre l'utilisation de matériaux performants, différents dispositifs techniques sont mis en place : la ventilation double flux avec récupérateur de chaleur et couplée avec un puits canadien ; celle-ci est utilisée également comme appoint de chaleur. Un poêle à pellets et l'installation solaire assurent la présence d'eau chaude respectivement en hiver et en été. Le poêle sert aussi d'appoint de chauffage.

De plus, une stratégie de régulation a été étudiée. En effet, la maison est divisée en trois zones :

- la première est située au nord et est donc dépendante des apports internes ;
- la seconde, au sud, profite des apports solaires ;
- et, la troisième zone, au 2<sup>e</sup> étage, en plus d'être elle aussi soumise aux rayons solaires, profite de la chaleur montante depuis le rez-de-chaussée.

Pour l'architecte, ce bâtiment peut être considéré comme expérimental. La démolition et la reconstruction de ce bâtiment aurait été plus simple mais il voulait étudier les possibilités qu'offre la rénovation passive d'un bâtiment existant.

## 2.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ

L'habitation est une maison unifamiliale à deux étages dont la toiture est en simple pente. Elle est pourvue d'une cave et d'une annexe à deux niveaux. Cette dernière est située côté jardin sur toute la largeur de la maison.

### FONCTIONS

L'entrée de la maison se situe au centre de la façade nord. Au rez-de-chaussée, dans le bâtiment principal, se trouvent un bureau, un local technique, une buanderie, la cuisine, un WC séparé et la cage d'escalier. Le séjour et la salle à manger, en double hauteur, sont situés dans l'annexe. Le premier étage comprend la chambre des parents en mezzanine, le vide sur la salle-à-manger, le dressing, deux chambres et une salle de bain. Le second étage est réservé pour deux chambres supplémentaires et une salle de douche.

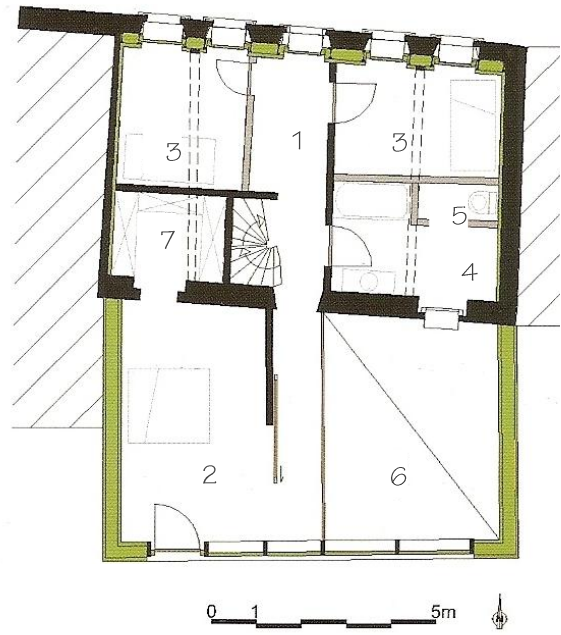
### PLANS ET COUPES

Les figures ci-dessous nous indiquent les différents plans de la maison et leur mesure en mètre. Ils nous fournissent notamment l'orientation de l'habitation. En effet, la façade où figure l'entrée est orientée au nord.

Les dimensions des différents plans sont identiques et sont de 12,50 m sur 11,50 m.



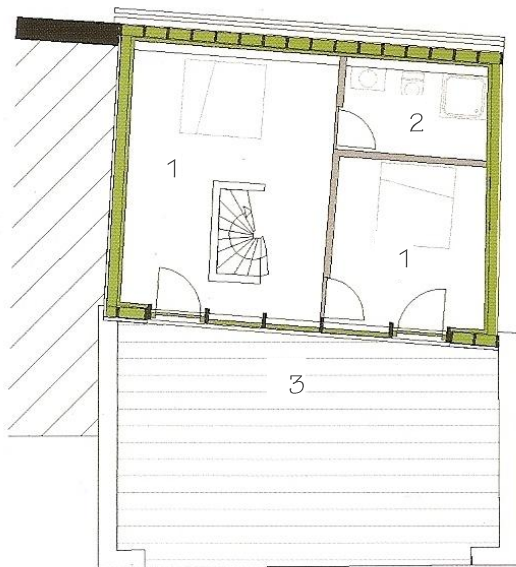
- |                  |                   |
|------------------|-------------------|
| 1 Entrée         | 5 Bureau          |
| 2 Cuisine        | 6 Local technique |
| 3 Salle à manger | 7 Buanderie       |
| 4 Salon          | 8 Toilettes       |



- |                   |                |
|-------------------|----------------|
| 1 Hall de nuit    | 5 Toilettes    |
| 2 Chambre parents | 6 Vide sur rez |
| 3 Chambre enfant  | 7 Dressing     |
| 4 Salle de bain   |                |

Figure 8 – Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau FHW, 2007)

Figure 9 – Plan du 1<sup>er</sup> étage (Source : Bureau FHW, 2007)



- |                 |
|-----------------|
| 1 Chambre       |
| 2 Salle de bain |
| 3 Terrasse      |

Figure 10 – Plan du 2<sup>e</sup> étage (Source : Bureau FHW, 2007)

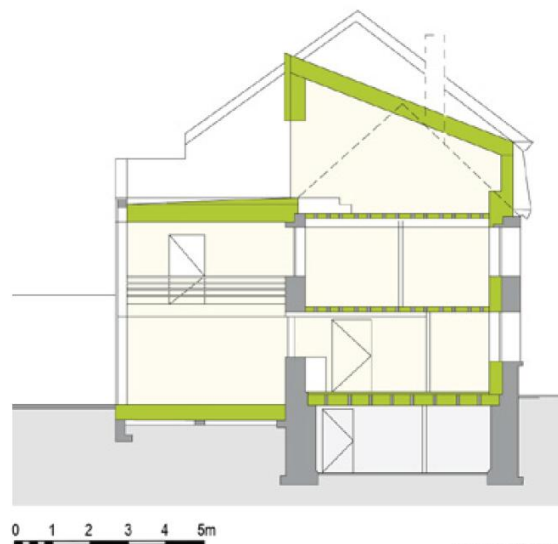


Figure 11 – Coupe (Source : Bureau FHW, 2007)



## 2.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE

Les informations récoltées lors de l'interview de M. Henz du bureau d'architecture FHW à Verviers et celles dans le livre « Maisons passives » de A. Guerriat [Guerriat A., 2008] ont permis de réaliser les analyses ci-dessous.

### ■ DESCRIPTION AVANT RÉNOVATION

La maison, implantée entre deux murs mitoyens, date de 1850 (Photo 3). Les murs, de type « murs massifs », sont composés de moellons dont l'épaisseur est de 50 cm. La bâtisse de départ était constituée de la partie se trouvant uniquement sous la toiture en pente. Les années passent et de nombreuses annexes sont construites dans le jardin pour aboutir à un ensemble hétéroclite tel que le montre la Photo 4.



Photo 3 - Façade côté rue avant rénovation (Source : Bureau FHW, 2007)



Photo 4 - Façade côté jardin avant rénovation (Source : Bureau FHW, 2007)

La description de la structure avant rénovation ci-dessous concerne uniquement le bâtiment principal sans les annexes. En effet, ces dernières seront détruites lors de la rénovation ; il n'est donc pas nécessaire de les analyser. Les planchers existants des différents niveaux ont une structure identique. Ils sont composés de trois poutres principales en bois portées depuis la façade côté rue jusqu'à la façade côté jardin.

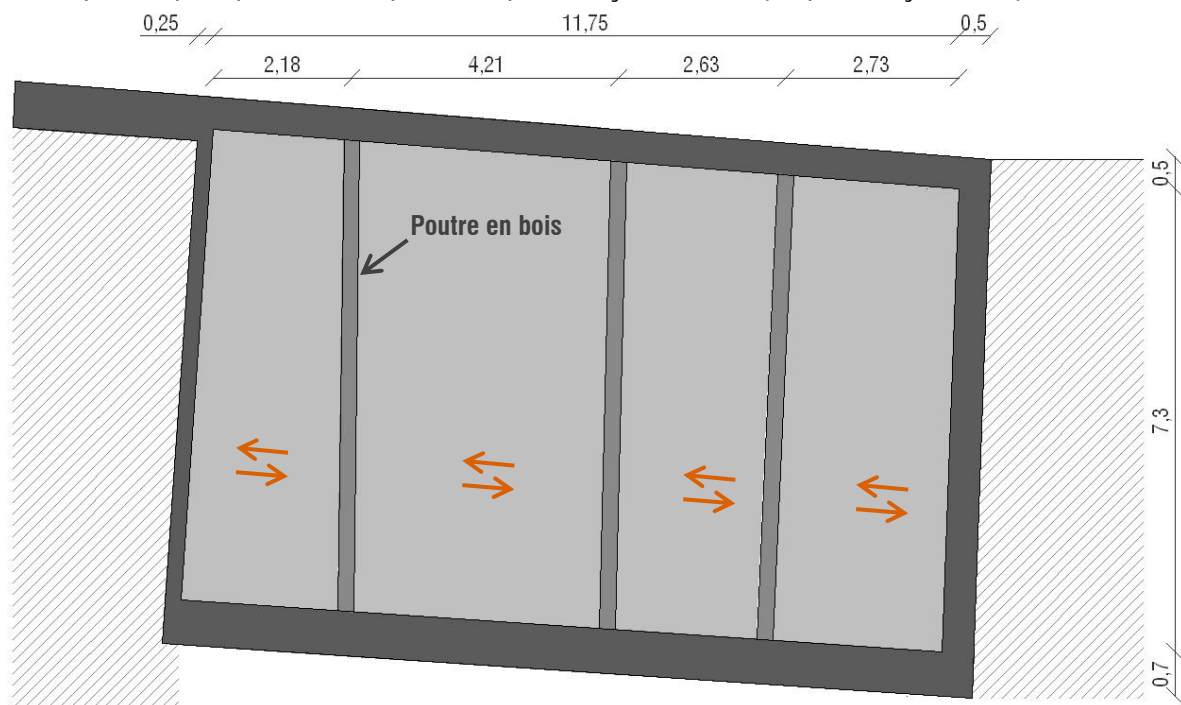
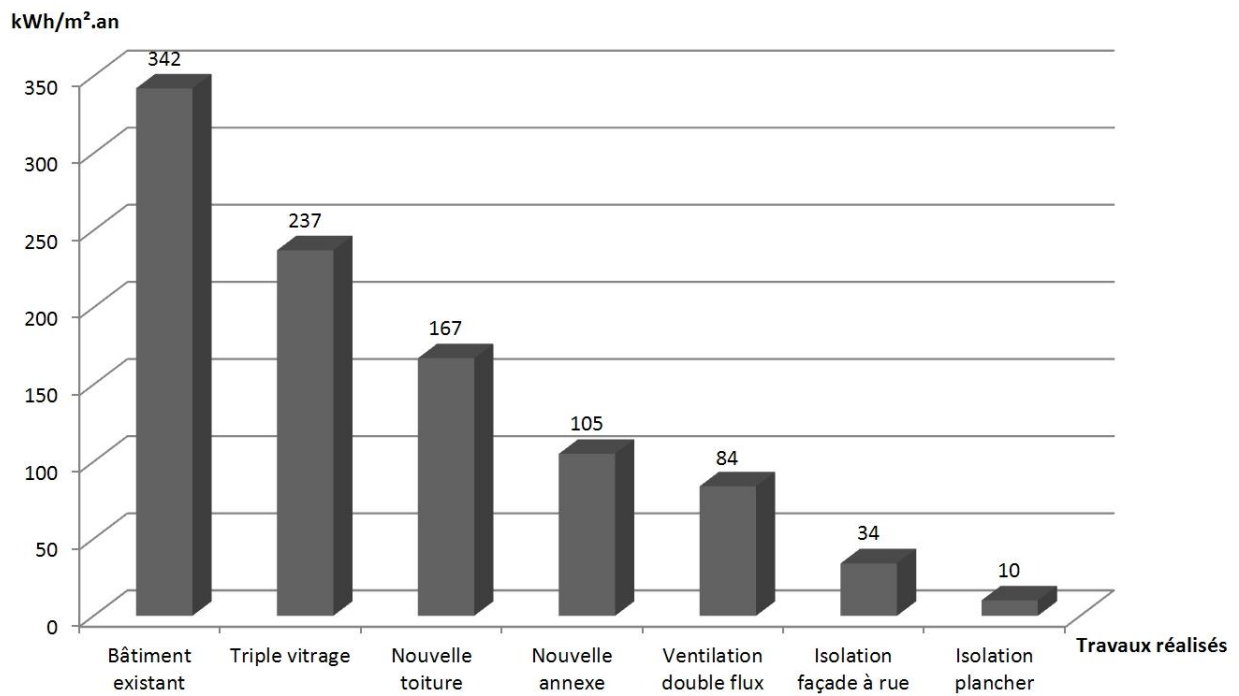


Figure 12 - Plan schématique de la structure générale des planchers, mesures en [m]

Les flèches oranges de la **Figure 12** expriment le sens de portée du gîtage de poutre à poutre et de poutre à mur mitoyen. Les gîtes sont posées sur les poutres parallèlement à la façade. En ce qui concerne la toiture, les pannes posent également sur les murs porteurs intérieurs et les murs mitoyens.

## ■ DESCRIPTION APRÈS RÉNOVATION

Les parois du bâtiment ont chacune été modifiées afin de répondre aux exigences en terme d'isolation et d'étanchéité à l'air du standard passif. Par ailleurs, le **Tableau 7** indique l'évolution de la performance énergétique du bâtiment en fonction des travaux réalisés lors de la rénovation. Cette analyse va ainsi traiter les différentes parois qui composent l'enveloppe du bâtiment.



**Tableau 7 - Evolution de la performance énergétique (Source: Bureau FHW, 2007)**

## MUR EXTÉRIEUR DE LA FAÇADE AVANT

L'isolation devait s'effectuer initialement par l'extérieur, ne posant ainsi aucun problème au niveau de la diffusion de vapeur d'eau. Mais, l'administration communale l'a interdite pour des raisons d'alignement par rapport aux habitations voisines. L'isolation est donc placée à l'intérieur de manière continue depuis le rez-de-chaussée jusqu'à la toiture. Elle consiste en une ossature en bois de 24 cm. Elle est de type poutres en I entre lesquelles l'isolant en cellulose est insufflé. L'épaisseur d'isolant varie entre 24 et 30 cm suivant les irrégularités de la pierre. Ce caisson est fermé à l'intérieur par un freine-vapeur à perméabilité variable (Intello plus de chez Pro Clima) ; la structure est enlevée sur ces deux épaisseurs (structure en bois et freine-vapeur). Ensuite, un panneau en fibres de bois de 6 cm d'épaisseur (Steico Protect) est placé. Le détail de cette paroi se trouve à droite.

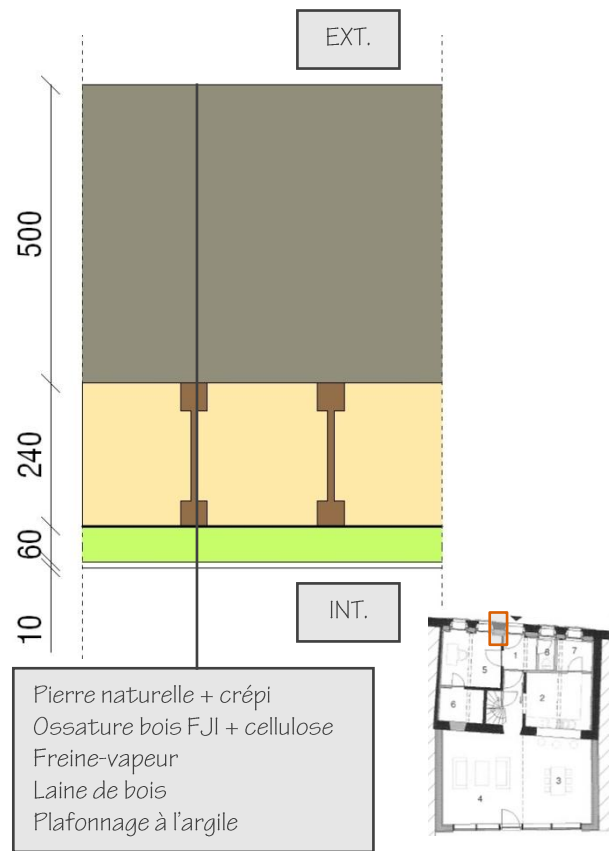


Figure 13- Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant, mesures en [mm]

Initialement pour des raisons d'étanchéité à l'air, cette technique permet d'éviter les ponts thermiques car si elle avait été réalisée par l'extérieur, l'isolant du plancher du rez-de-chaussée n'aurait jamais pu atteindre celui du mur. A cette fin, les poutres qui sont ancrées dans la façade en moellons sont donc coupées (Photo 5). Elles sont alors reprises par de nouvelles colonnes en bois situées dans l'épaisseur du panneau en fibre de bois (Photo 6 et Figure 14). Cette disposition permet de placer le freine-vapeur derrière les colonnes de manière continue sur toute la façade.



Photo 5 – Découpe des poutres (Source : Bureau FHW, 2007)



Photo 6 – Mise en place des colonnes sous les poutres coupées (Source : Bureau FHW, 2007)

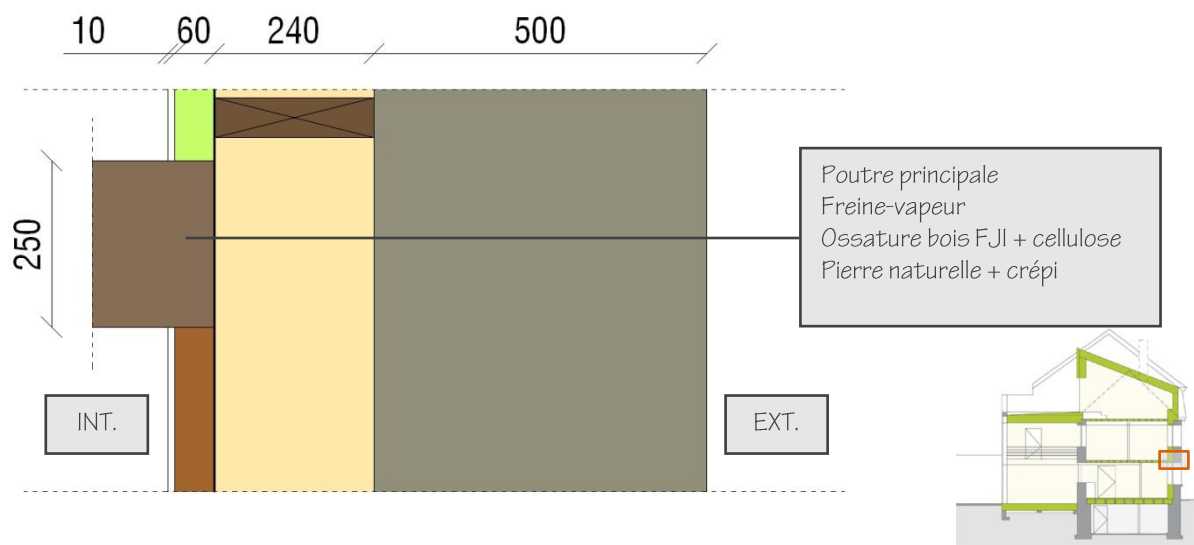


Figure 14- Détail de la poutre coupée pour l'isolation de la façade avant, mesures en [mm]

Pour stabiliser la maçonnerie désolidarisée, elle est maintenue ponctuellement par des liaisons mécaniques fixées à la nouvelle ossature en bois.

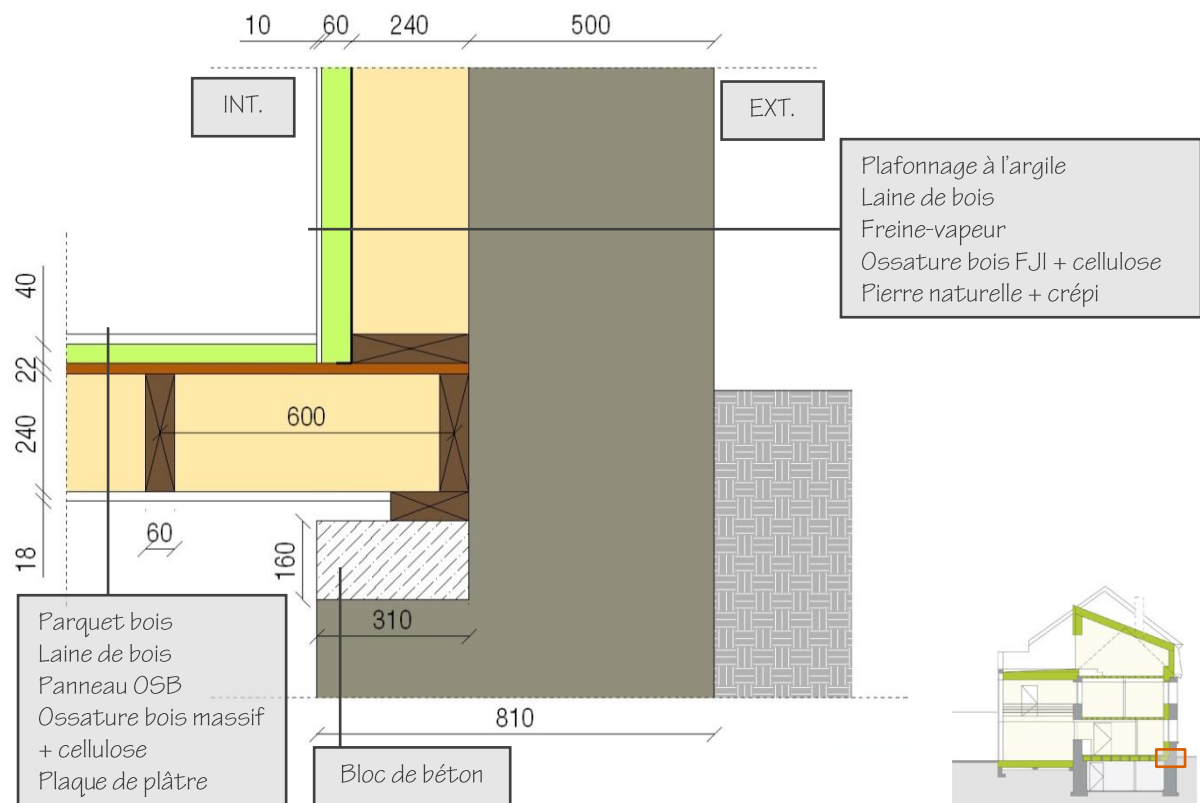
Pour ce qui est des gîtes, celles-ci ne sont pas coupées car cette technique est trop compliquée à réaliser pour ces dernières (Photo 7). Toutefois, cette situation s'avère moins problématique d'un point de vue énergétique si cela avait concerné les poutres car le gîtage s'appuie sur les murs mitoyens qui sont en contact avec des volumes voisins occupés et chauffés. Elles ont ainsi été complètement emballées avec le freine-vapeur.



Photo 7 - Gîtage emballé par le freine-vapeur (Source : Bureau FHW, 2007)

### PLANCHER DU REZ-DE-CHAUSSÉE

Les planchers existants sont conservés sauf celui du rez-de-chaussée situé au-dessus de la cave car le gîtage n'était pas suffisamment épais pour insuffler l'isolation. Le nouveau plancher est constitué de gîtes en bois massif de 24 cm isolées avec de la cellulose. Elles sont fixées aux poutres principales. Une fois le panneau en OSB placé sur le gîtage, il est recouvert par un panneau en fibres de bois et ensuite par du parquet. La Figure 15 illustre le raccord entre le plancher du rez-de-chaussée et le mur vertical de la façade avant. Etant donné que l'épaisseur du mur en pierre existant est plus large en-dessous du plancher, l'ossature doublée à l'intérieur transfère ses charges au mur existant par l'intermédiaire d'un asselet de répartition en béton. Cette augmentation d'épaisseur était déjà présente avant la rénovation car les poutres principales reposent sur les fondations plus larges. Lors des travaux, celles-ci sont également coupées au même endroit que les poutres des niveaux supérieurs. La différence, c'est que la colonne n'est pas nécessaire vu qu'elle est reprise par le mur plus épais.



### PIGNON DU BÂTIMENT

Les murs mitoyens sont isolés à l'intérieur par une contre-cloison de 12 cm dans laquelle est insufflée de la cellulose. Il faut noter que cette épaisseur est plus importante à certains endroits, ceci étant dû à l'irrégularité du mur.

### CHARPENTE ET REHAUSSE

Vu son état, la charpente existante pouvait être conservée. Elle a toutefois été remplacée par des poutres en I de 36 cm afin de libérer un plus grand espace, ce dernier ayant une hauteur initiale trop faible (Figure 16). Elle porte, contrairement à la situation avant rénovation, de façade en façade. De l'isolant en cellulose est injecté entre les poutres dans un caisson fermé sur sa face inférieure par un panneau en OSB. Ensuite, un panneau en fibres de bois (Celit 4D) faisant office de sous-toiture est placé, suivi d'une couverture en zinc.



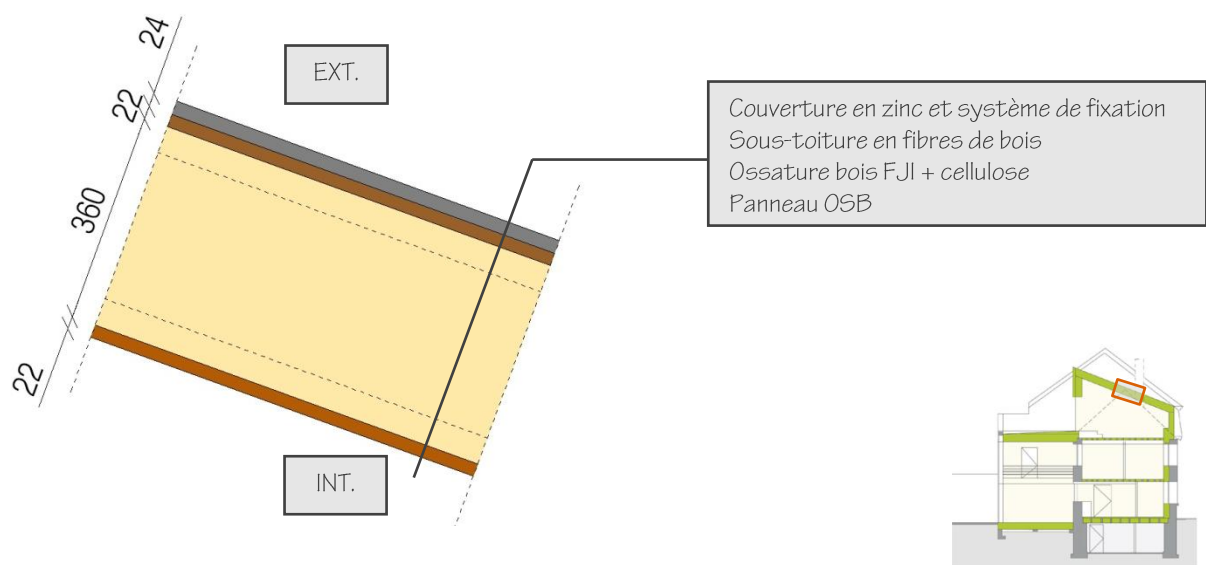


Figure 16- Détail de la toiture en pente du bâtiment principal, mesures en [mm]

Le nouveau toit étant plus haut, les murs ont dû être rehaussés. Cette rehausse est réalisée en structure bois pour des raisons de légèreté (Figure 17).

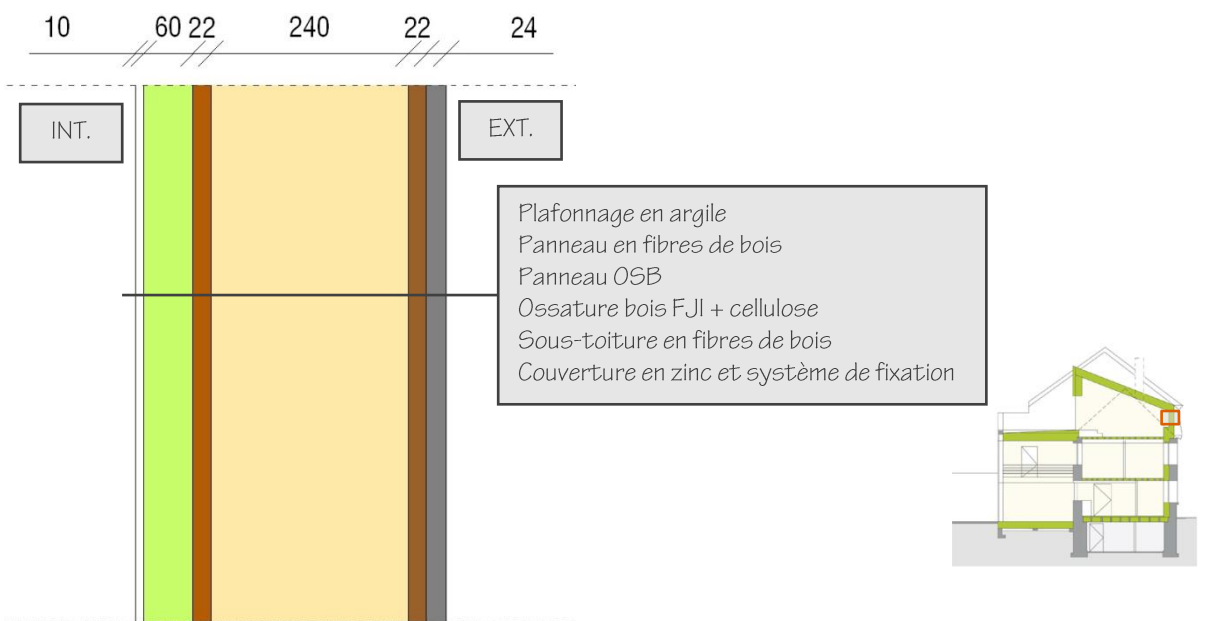


Figure 17- Détail de la rehausse de la façade avant, mesures en [mm]

### ANNEXE CÔTÉ JARDIN

L'ensemble des annexes sont démolies et remplacées par une seule extension étendue sur toute la largeur de la façade arrière. Elle comporte deux niveaux et une toiture plate qui sert de toiture terrasse au 2<sup>e</sup> étage du bâtiment principal. Le détail du mur de l'annexe et de la façade arrière du volume primaire est semblable à celui de la rehausse de la façade avant à l'exception du type de bardage.

Le seul pont thermique résultant d'une interruption d'isolant se situe à la jonction mur intérieur de la façade arrière – plancher du rez-de-chaussée – plancher de l'annexe mais il est toutefois limité car il se situe au milieu du volume global du bâtiment et donc loin de l'air extérieur. (Figure 18)

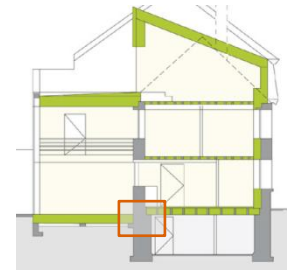


Figure 18- Détail de la rehausse de la façade avant, mesures en [mm]

Le plancher de l'annexe, sur vide ventilé, est réalisé en gîtes de dimensions 6/24 cm (Figure 19). Il porte du mur appartenant au volume principal jusqu'au mur vertical de l'annexe.

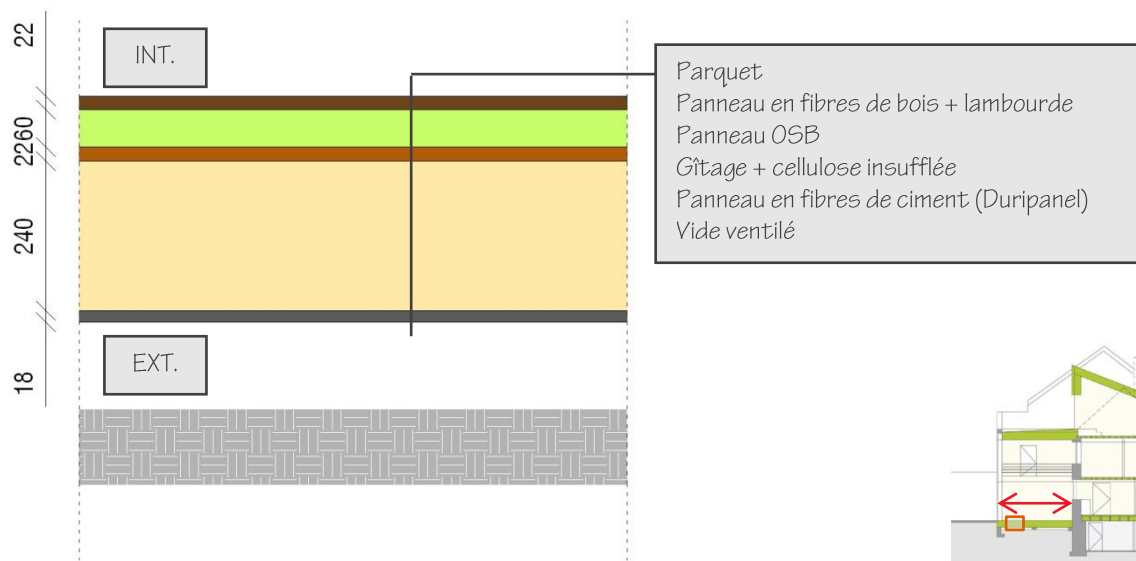


Figure 19- Détail du plancher de l'annexe, mesures en [mm]

Les panneaux en fibres de ciment sont des isolants thermiques et acoustiques. Ils sont perméables à la vapeur d'eau.

La structure de la toiture plate est composée de poutres FJI dont le sens de portée est identique à celui du plancher. (Figure 20)

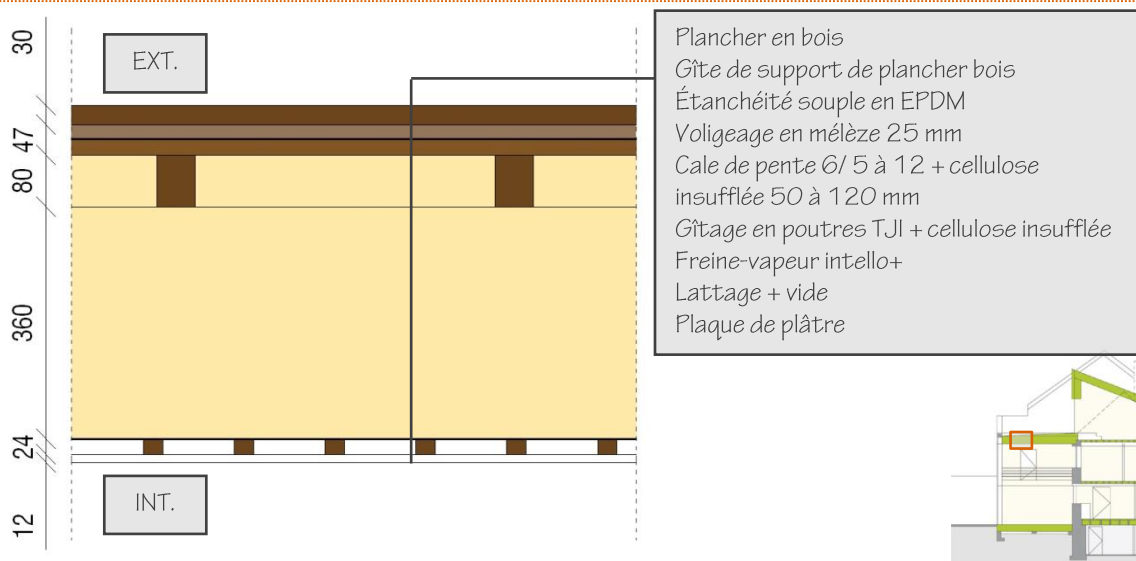


Figure 20- Détail du plancher de l'annexe, mesures en [mm]

## 2.5 DESCENTES DE CHARGES

Les descentes de charges sont réalisées pour les murs porteurs (murs de façade et murs mitoyens) du volume principal avant et après rénovation. Les détails de ces calculs se trouvent dans l'annexe A.

Ce point présente les résultats principaux et compare la valeur des charges d'une situation à l'autre. Il se concentre principalement sur la façade avant car c'est cette dernière qui a subi l'intervention structurelle la plus lourde.

Avant la rénovation, les trois poutres de chaque plancher étaient ancrées dans la façade. Elles induisent des charges ponctuelles provenant de leur poids propre, du poids propre du plancher et de la surcharge d'exploitation. Sur le schéma ci-dessous, elles sont matérialisées par des flèches oranges. Elles transmettent leurs charges au mur de façade en les diffusant suivant un angle de 30° par rapport à la verticale. Comme le montre le schéma, elles « s'entremêlent » au niveau des fondations. La zone la plus chargée est située près de la barre bleue. En généralisant cette valeur critique sur la longueur de la paroi et en la combinant avec le poids propre du mur, la charge linéaire obtenue à l'ELU avoisine les 179 kN/m. Cette valeur très élevée est due au poids propre du mur en moellons dont l'épaisseur est de 70 cm.

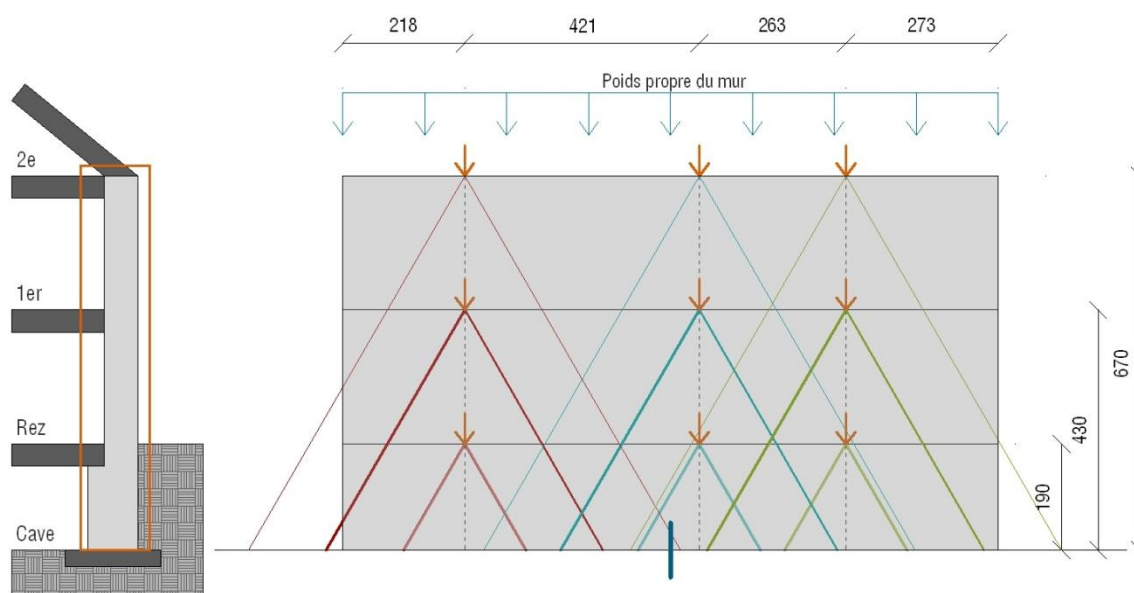
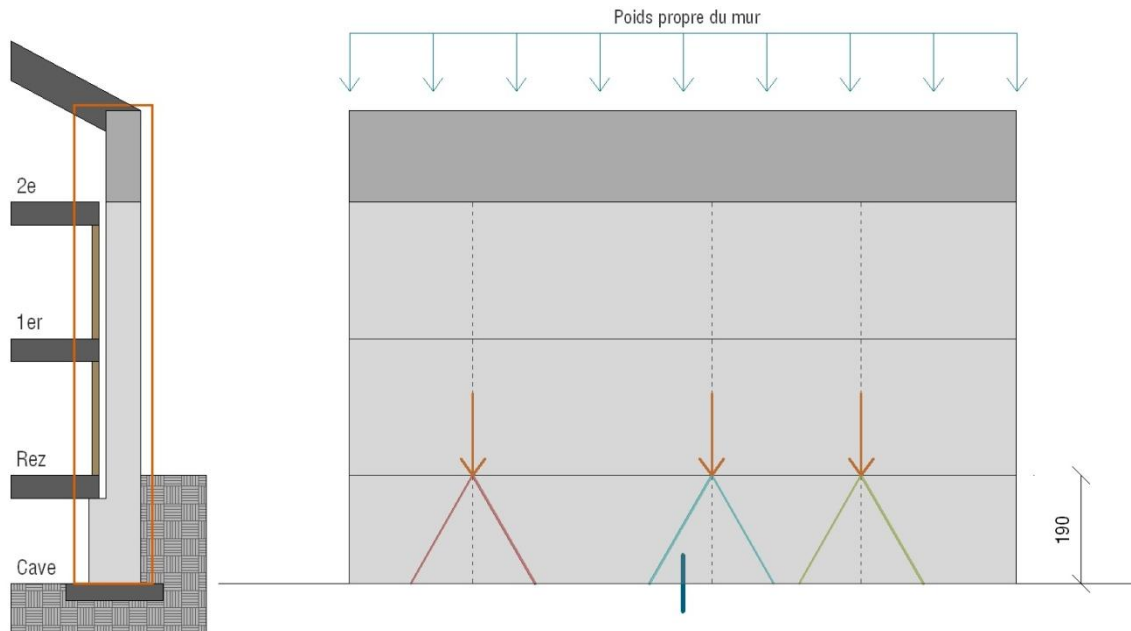


Figure 21 - Descente de charges de la façade à rue avant rénovation

Après la rénovation, les poutres, une fois coupées, sont reprises par des colonnes. Celles-ci transmettent les charges ponctuelles au mur de cave plus épais qui sont alors diffusées dans la maçonnerie jusqu'aux fondations.<sup>20</sup> Cependant, le schéma ci-après indique qu'elles sont moins réparties par rapport à la situation initiale. Elles seront dès lors plus élevées vu qu'elles agissent sur une plus petite longueur. En effet, la valeur à l'endroit le plus critique annoté par un trait bleu généralisée sur toute la paroi et combinée avec le poids propre du mur induit une charge linéaire à 212 kN/m à l'ELU. La hausse de cette valeur provient également de la rehausse du mur de façade (en gris plus foncé sur le schéma). Vu l'augmentation de la charge critique, il est nécessaire de vérifier si le mur de cave a une résistance suffisante.

<sup>20</sup> Malgré que le poids propre du mur et les charges de la colonne n'aient pas le même point d'application sur le mur de cave, nous pouvons émettre l'hypothèse qu'elles se répartissent uniformément sur les fondations.





**Figure 22 - Descente de charges de la façade à rue après rénovation**

Concernant les murs mitoyens, les charges linéaires sur les fondations après rénovation diminuent légèrement car la toiture ne pose plus sur ces derniers.

## 3 MAISON MITOYENNE | SCHAERBEEK

### 3.1 FICHE D'IDENTITÉ



Photo 8 – Façade côté rue de la maison mitoyenne

**PROGRAMME** : Maison unifamiliale  
**RÉNOVATION** : Rénovation d'une maison divisée en deux appartements et reconvertie en habitation unifamiliale. Rénovation au standard passif (15 kWh par m<sup>2</sup> en besoin annuel de chauffe).  
**IMPLANTATION** : En ville (1030 Bruxelles) – Rue Gustave Huberti, 1030 Schaerbeek.  
**SURFACE DU BÂTIMENT** : 180,83 m<sup>2</sup>

**MAÎTRES D'OUVRAGE** : O. Alexandre et L. Stevelinck  
**ARCHITECTE** : O. Alexandre  
**BUREAU D'ÉTUDES** : EcoRce  
**BUREAU DE STABILITÉ** : JZH & Partners

**CONCEPTION** : 2007  
 Participation au concours "Bâtiments exemplaires 2008"  
**EXÉCUTION** : 2011-2012

**COÛTS DE CONSTRUCTION HTVA, HORS PRIMES** :  
 492 €/m<sup>2</sup>

### 3.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

Les informations relatives au bâtiment ci-dessous proviennent de trois sources à savoir une « *info fiche-Bâtiment exemplaire 2008* » [IBGE, 2008] , un article publié par l'architecte [Alexandre O., 2011] et le livre « *Rénover en basse consommation* » [Bourgeois M. et al., 2010].

#### GÉNÉRAL

La maison datant des années 1920 est achetée en 2004 par O. Alexandre et L. Stevelinck. Leur volonté est de concevoir un espace plus grand et plus lumineux tout en améliorant le confort et en atteignant le standard passif. A cette fin, outre l'ajout d'isolant sur les surfaces de déperdition, ils installeront un système de ventilation mécanique contrôlée avec récupérateur de chaleur et filtre à pollen, des panneaux solaires thermiques côté rue et une citerne à eau de pluie. Les matériaux utilisés tels que la cellulose, le chanvre et du bois FSC ont un très faible impact environnemental. Deux fiches nécessaires pour l'appel à projets « Bâtiments exemplaires 2008 » comparent d'un point de vue énergétique la situation avant la rénovation et celle que les maîtres d'ouvrage devraient obtenir après cette dernière :

	Avant rénovation	Après rénovation
<b>Energie</b>	Enveloppe non isolée	Isolation de l'enveloppe en 3 étapes
	Chaudière à condensation	VMC <sup>21</sup> double flux avec récupération de chaleur
	Chauffe-eau solaire ECS + chauffage	
<b>Eau</b>	Réducteur de pression à 3 bars	Citerne de récupération d'eau de pluie de 5000l en cave
	Chasse d'eau double touche	Usage sanitaire de l'eau de pluie
	Pommeau de douche économique	Toilettes à litière biomaitrisée
<b>Matériaux</b>	Cloisons neuves en fibro-plâtre Fermacell, isolées en laine de chanvre	Isolation sur façade : Diffutherm et enduit
	Doublage acoustique de cloison en panneau Pan-terre	Isolation de toiture : cellulose soufflée
	Plancher SDB = Pan-terre OSB + parquet bambou collé	Isolation de façade par l'intérieur : cellulose soufflée
	Parois SDB = Fermacell + enduit et badigeon à la chaux	Finition intérieure des parois : enduit à l'argile
	Portes intérieures en bois de pays (frêne)	
<b>Mobilité</b>	Local vélos	Local vélos
<b>Déchets</b>	Coin compost	Coin compost
<b>Utilisation d'eau potable (l/jour.pers.)</b>	115	18
<b>Besoins nets en énergie de chauffage (kWh/m<sup>2</sup>.an)</b>	375	15

Tableau 8 – Passeport environnemental : situation existante et situation prévue après la rénovation (Source : Article publié par Alexandre O., 2011.)

### PHASAGE DES TRAVAUX DE RÉNOVATION

La rénovation se déroulera en trois phases pour des raisons de financement. De plus, cette stratégie de rénovation permettra aux habitants d'occuper les lieux lors du chantier. Préalablement, les maîtres d'ouvrage ont remplacé la chaudière au gaz et le chauffe-eau électrique par une chaudière à condensation labellisée HR TOP. Ils verront alors leur facture de gaz et d'électricité diminuer d'environ 40 %.

Les trois phases sont expliquées ci-après (Figure 23) :

- Les besoins en chaleur atteignent une valeur de 57 kWh/m<sup>2</sup> par an alors qu'initialement, ils s'élevaient à 375 kWh/m<sup>2</sup>. Cette étape consiste à isoler les sols et les toits et à assurer une meilleure étanchéité à l'air (n50 = 1,5vol/h). La maison étant plus étanche à la chaleur et à l'air, ils ont décidé de mettre en place un dispositif de ventilation afin d'éviter un risque éventuel de condensation. Cette phase est ainsi définie comme étant une intervention lourde car la toiture doit être renforcée structurellement suite à l'augmentation de l'épaisseur de l'isolant ; la dalle existante sera démolie afin d'obtenir une dalle isolée.
- Le niveau atteint de 28 kWh/m<sup>2</sup> par an correspond au standard très basse énergie. Pour atteindre cette valeur, les portes existantes sont remplacées, de même que les châssis par du triple vitrage. De plus, l'isolation, en panneaux de fibre de bois, fixée sur la maçonnerie existante, est réalisée par l'extérieur le long de la façade arrière côté jardin.

<sup>21</sup> Une VMC est une ventilation mécanique contrôlée.

- La consommation est descendue à 15 kWh/m<sup>2</sup> par an ; la maison répond ainsi à la norme passive. La performance énergétique de la façade avant est améliorée grâce au remplacement des menuiseries, à la mise en place de protection solaire afin de limiter la surchauffe et à une isolation accrue par l'intérieur. Par cette technique d'isolation, le raccord entre le plancher du rez-de-chaussée et la toiture sera facilité.

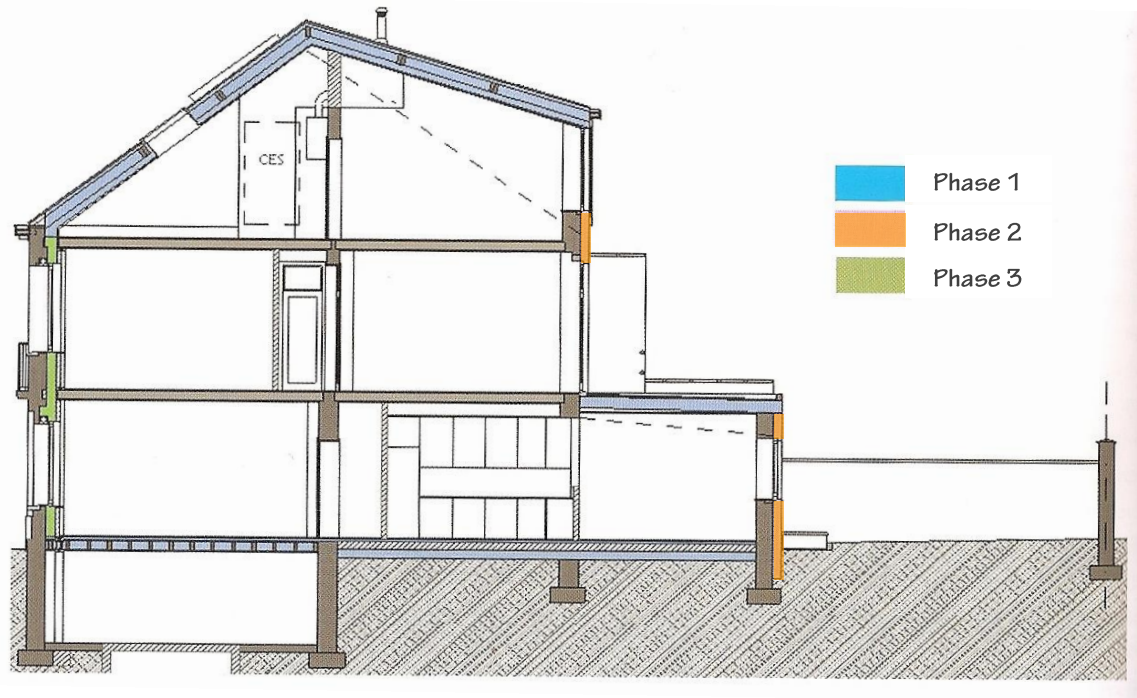


Figure 23 – Phasage des travaux de rénovation (Source : Bourgeois et al, 2010.)

### 3.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ

Le bâtiment étudié est une maison située dans la région de Bruxelles-Capitale et plus précisément dans la commune de Schaerbeek. Il s'agit d'une maison unifamiliale mitoyenne à deux étages avec une toiture double pente, une cave sous l'entièreté de la surface et une annexe côté jardin accolée généralement à une maison mitoyenne implantée en milieu urbain. Après les travaux, cette annexe sera pourvue d'une toiture verte.

#### FONCTIONS

Le rez-de-chaussée comprend un porche d'entrée, un hall avec escalier donnant sur l'étage, un bureau, un WC, l'accès à la cave sous la cage d'escalier, une pièce de vie salon/salle à manger reliée à une cuisine et au jardin. Notons que le salon se situe dans l'annexe. Au premier étage, se trouvent deux chambres, une salle de bain, un WC séparé et l'accès à la toiture verte. Le second étage, sous toiture, compte également deux chambres et un espace de jeux.

#### PLANS

Les figures ci-dessous nous indiquent les différents plans de la maison, la coupe et leur mesure en mètre. Ils spécifient notamment l'orientation de l'habitation. En effet, la façade arrière côté jardin est orientée au Nord-Est.

Les dimensions de la cave sont de 5,75 m et de 5,68 m et celles du rez-de-chaussée sont de 5,98 m et de 13,67 m.

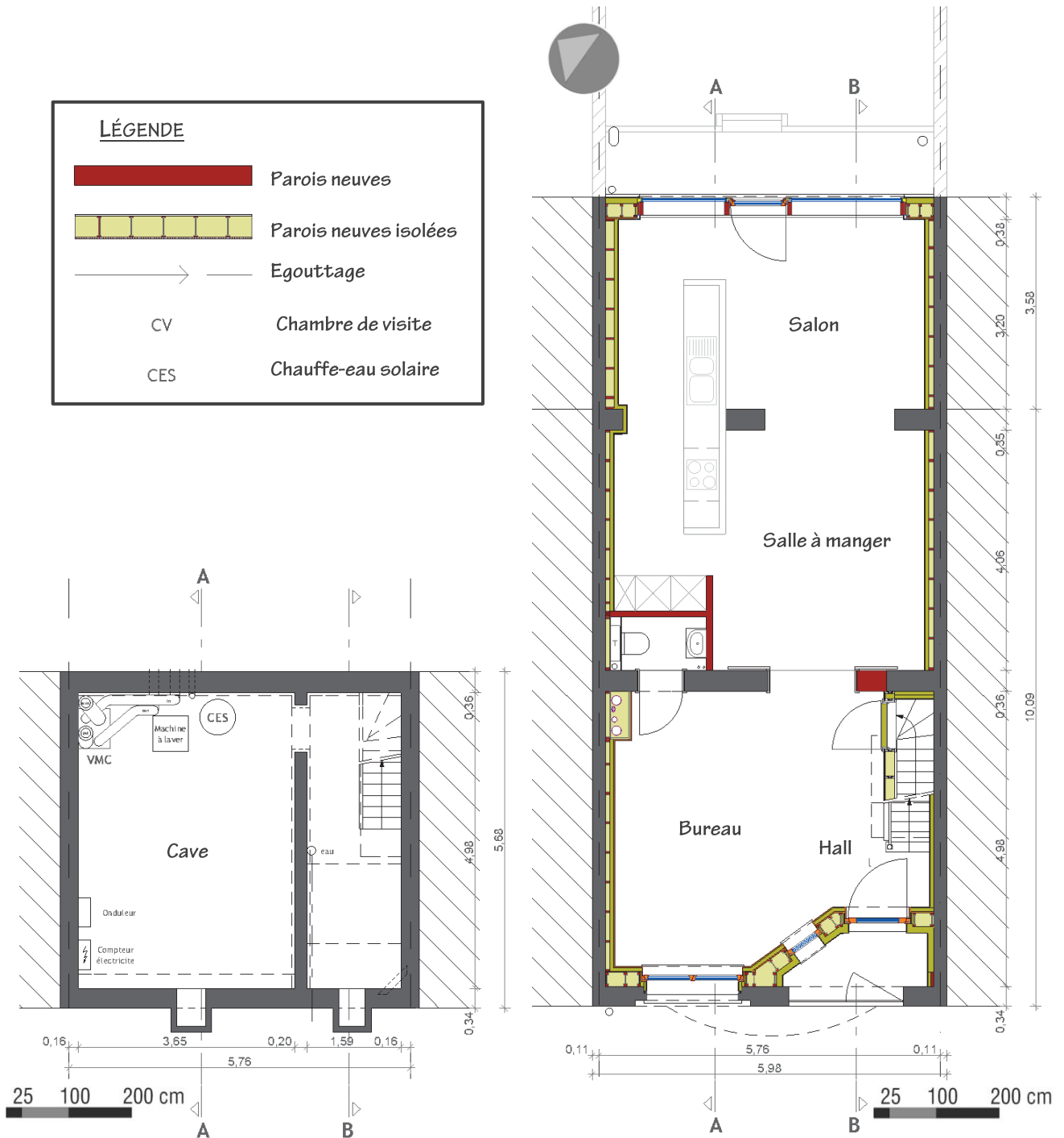


Figure 24 – Plans du sous-sol et du rez-de-chaussée, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011)

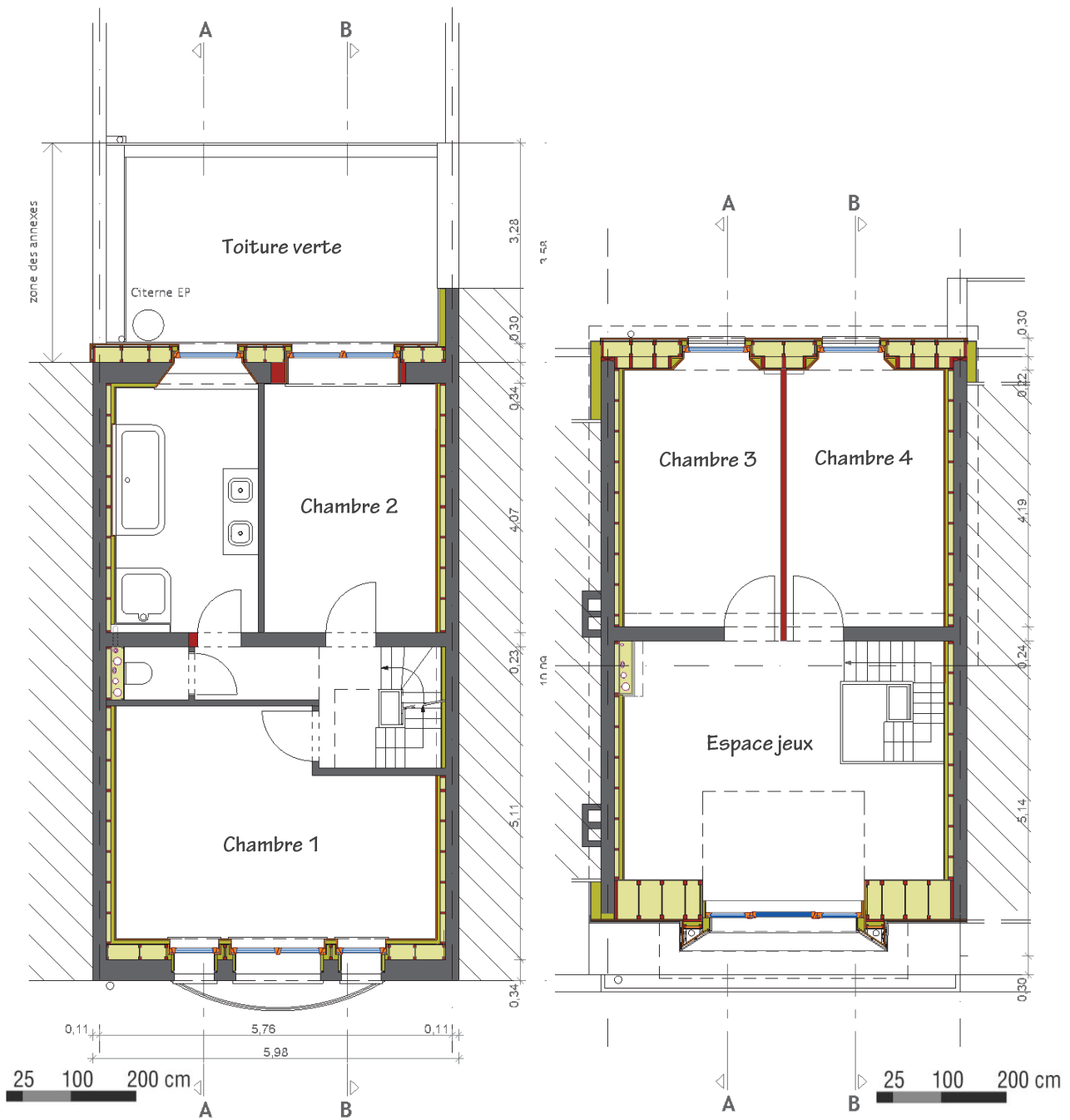


Figure 25 – Plans du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> étage, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011)

**COUPE**

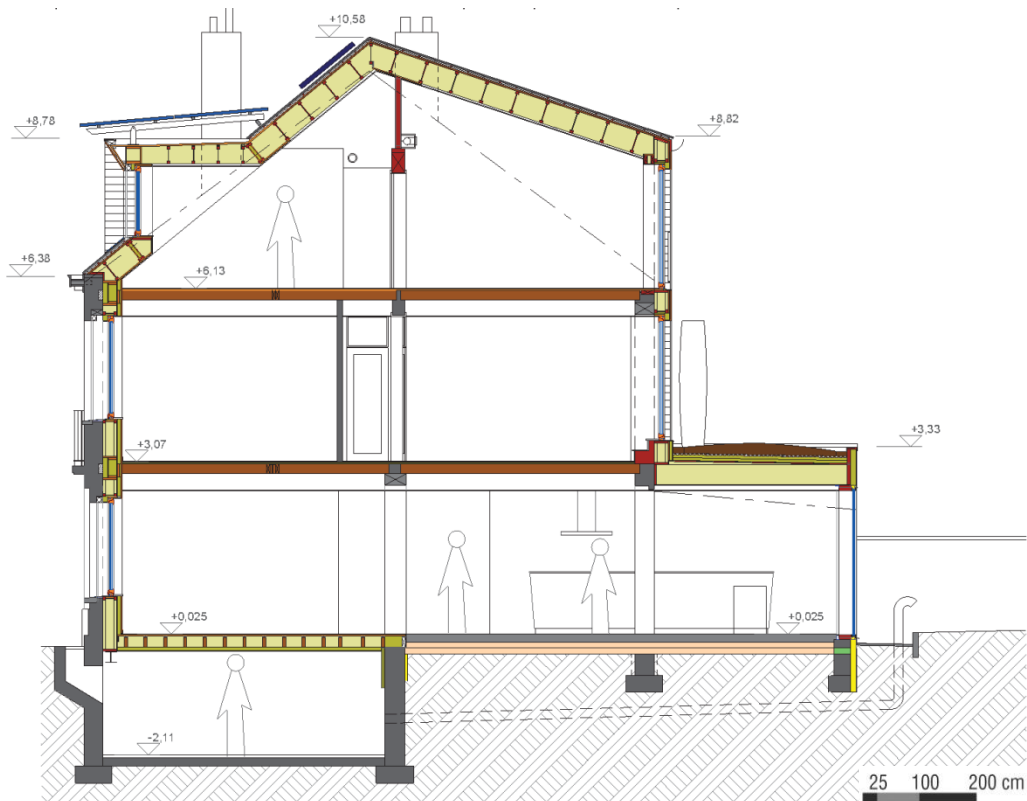


Figure 26 – Coupe A-A, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011)

### 3.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE

Les interviews de Mr Meersseman du bureau de stabilité JZH & Partners et de Mr. Alexandre, architecte et maître d'ouvrage m'ont permis de récolter les informations nécessaires et ainsi de réaliser l'analyse ci-après. J'ai également eu l'opportunité de visiter la maison toujours en rénovation. Les travaux importants étaient déjà terminés, seule la finition des parois doit être achevée. Par ailleurs, lors de l'étude de l'exécution des travaux ci-après, il est important de remarquer que le phasage, de même que certains détails constructifs ont été modifiés par rapport à ce qui était prévu lors de la conception. Les raisons de ces modifications seront justifiées.

#### ■ DESCRIPTION AVANT RÉNOVATION

Cette description doit préalablement spécifier que le volume du bâtiment principal et de l'annexe est identique à celui obtenu après la rénovation.

L'ensemble des charges de l'habitation est repris par des semelles de fondation suffisamment profondes pour être hors gel (Figure 26). La dalle contre sol du rez-de-chaussée et de la cave n'est pas isolée et est composée d'un carrelage sur stabilisé.

Le système constructif du plancher du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> étage est identique à l'exception de l'annexe qui est présente uniquement sur le plan du 1<sup>er</sup> étage. C'est pourquoi, le système constructif est illustré de manière générale à la Figure 27 par le plancher du premier étage, autrement dit par le plafond du rez-de-chaussée.



En ce qui concerne les parois verticales, elles ne sont pas isolées et sont réalisées en maçonnerie pleine comme le montre la photo ci-dessous (Photo 9). Leurs épaisseurs varient de 22 cm à 34 cm.

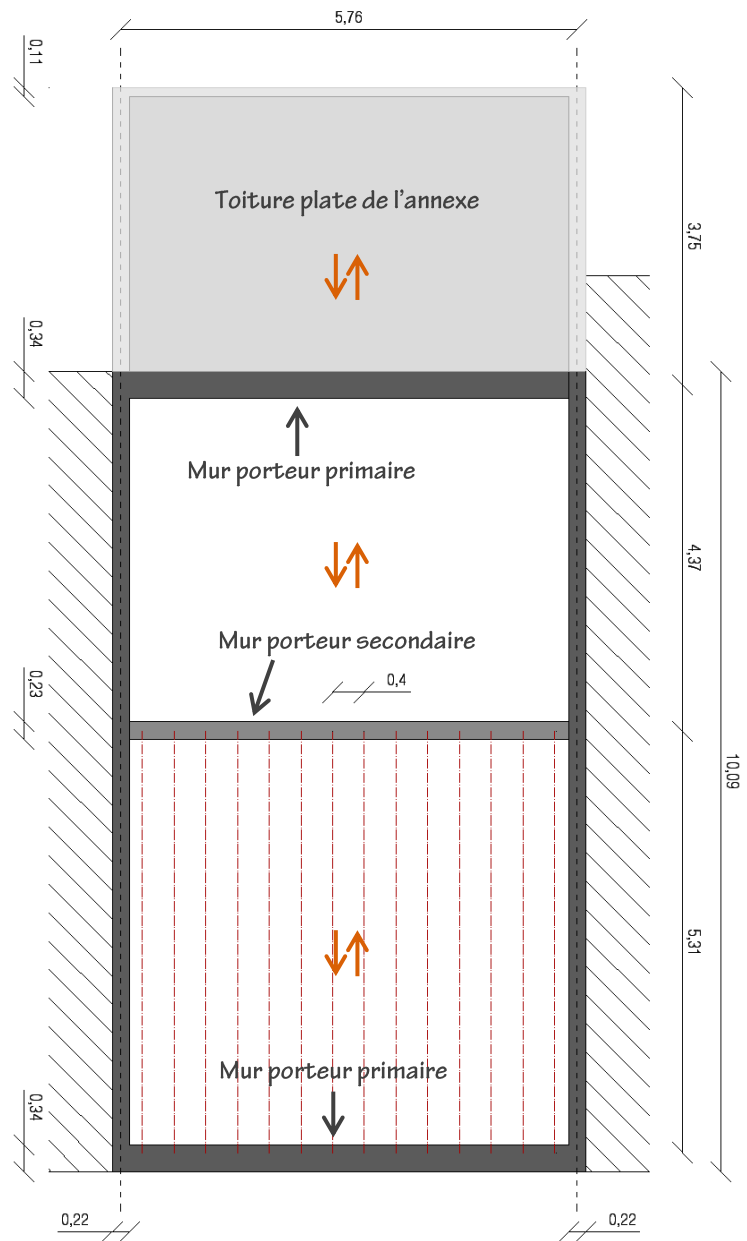


**Photo 9 – Paroi en maçonnerie pleine**  
(Source : Alexandre O., 2011)

Le système constructif est relativement classique. En effet, deux murs porteurs en façade et un mur porteur secondaire limitant ainsi la portée supportent des solives de section 7/18 (cm) et d'entraxe de 40 cm. Les pointillés rouges indiquent la trace des solives<sup>22</sup> et les flèches rouges représentent donc le sens de portée des deux étages. Un plancher en bois, posé perpendiculairement, recouvre les solives (Photo 10).



**Photo 10 – Plancher en bois sur solive**  
(Source : Alexandre O., 2011)



**Figure 27 – Plan schématique de la structure du plancher du 1<sup>er</sup> étage, mesures en [m]**

Toutefois, le système constructif des parois verticales du rez-de-chaussée et du second étage présentent des différences:

- Au rez-de-chaussée, les murs mitoyens se prolongent hors du volume principal pour former l'annexe. Celle-ci est ensuite fermée par un mur en maçonnerie de faible épaisseur, environ 11 cm (Figure 27).

<sup>22</sup> Les pointillés sont tracés uniquement sur une partie de la surface mais il est évident que ce système s'applique également du mur porteur secondaire au mur porteur primaire de la façade arrière.



- Pour ce qui est du 2<sup>e</sup> étage, sous la toiture, la différence réside dans l'épaisseur du mur de la façade arrière qui vaut la moitié de l'épaisseur des niveaux inférieurs.

La toiture est, quant à elle, composée de pannes portant d'un mur mitoyen à l'autre et de chevrons perpendiculaires à ces dernières (Photo 11 et Photo 12). Ainsi, les murs mitoyens et les murs de façade forment les murs porteurs primaires de l'habitation.



Photo 11 – Pannes de toiture (Source : Alexandre O., 2011)



Photo 12 – Chevrons de la toiture (Source : Alexandre O., 2011)

Enfin, le parement de la façade arrière, contrairement à la maçonnerie de la façade avant, est recouvert d'un enduit (Photo 13 et Photo 14). Par contre, au second étage, le bardage est composé d'ardoise.



Photo 13 – Façade côté rue avant rénovation (Source : Alexandre O., 2011)



Photo 14 - Façade côté jardin avant rénovation (Source : Alexandre O., 2011)

## ■ DESCRIPTION APRÈS RÉNOVATION

Cette description consiste à expliquer les grandes étapes des travaux de rénovation pour atteindre le standard passif et pointer alors de façon plus détaillée les modifications structurelles nécessaires pour y arriver. Le but de ce TFE étant de mettre en évidence ces dernières, nous n'étudierons pas les détails et les nœuds constructifs qui n'impliquent pas d'éventuelles modifications structurelles.

Mr Alexandre, l'architecte, m'a expliqué lors de l'interview que la rénovation n'est pas réalisée en trois phases comme cela était décrit lors de la conception du projet car plusieurs visites de l'entrepreneur seraient

coûteuses. Pour que cette démarche de phasage soit plus intéressante financièrement, les étapes auraient dû être davantage étalées dans le temps. Toutefois, l'ordre des travaux reste identique à celui présenté dans le projet de conception à l'exception de la rénovation du toit. C'est pourquoi les grandes étapes de travaux de rénovation analysées ci-dessous sont :

- Isolation de la dalle du rez-de-chaussée
- Isolation par l'extérieur de la façade arrière
- Isolation par l'intérieur de la façade avant
- Isolation de la toiture
- Isolation des murs mitoyens

L'isolation des murs mitoyens n'implique pas de changement au niveau de la structure existante car il s'agit simplement d'un ajout d'isolant inséré entre un lattage en bois contre le mur, le tout associé avec une membrane freine-vapeur Intello. Toutefois, ce cas sera traité dans ce TFE et le pourquoi sera justifié.

### ISOLATION DE LA DALLE DU REZ-DE-CHAUSSÉE

Le dallage existant en carrelage stabilisé est démolé afin d'assurer l'isolation de la dalle de sol (Photo 15).



Photo 15 – Démolition du carrelage stabilisé (Source : Alexandre O., 2011)

La majeure partie de la structure du rez-de-chaussée est donc réalisée en béton (Figure 28), l'autre en bois. Cette dernière a été conservée et isolée lors des travaux car la cave fait partie du volume non-chauffé. Les flèches oranges indiquent le sens de la portée des solives en bois. Contrairement aux étages supérieurs, elles ne portent pas de façade en façade mais du mur mitoyen gauche jusqu'au mur porteur (en gris clair) situé uniquement dans la cave. Le porche, en pointillé, est démolé puis reconstruit car le garder aurait engendré d'importants ponts thermiques.

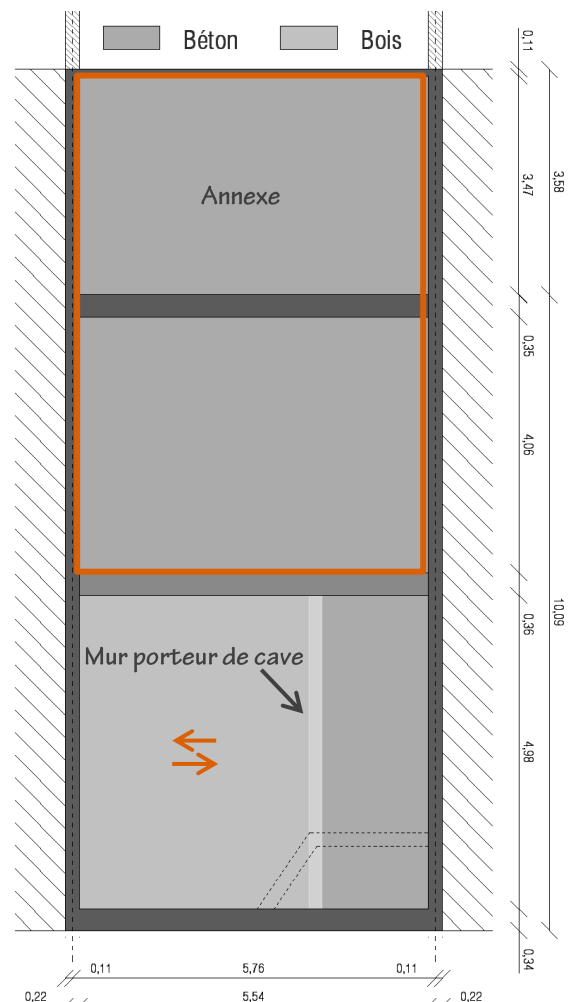


Figure 28 - Plan schématique de la structure du plancher du rez-de-chaussée, mesures en [m]



Photo 16 – Mise en place de l'isolation (Source : Alexandre O., 2011)



Photo 17 – Pose d'une étanchéité et des armatures (Source : Alexandre O., 2011)

Avant de mettre en place l'isolation sous la dalle, le remblai en sable et la pose d'une étanchéité en polyéthylène de 0,2 mm d'épaisseur doivent être réalisés. L'isolation est constituée de deux couches de plaques en mousse résolique Kingspan Kooltherm (10 cm d'épaisseur par plaque) afin d'alterner les joints entre les panneaux et ainsi d'améliorer la performance énergétique de la dalle (Photo 16). Ensuite, une seconde étanchéité suivie d'armatures est placée (Photo 17).



Photo 18 – Dalle de béton (Source : Alexandre O., 2011)

Elles sont, après, recouvertes d'une dalle de béton lissée d'épaisseur 15 cm (Photo 18). Cette composition de la nouvelle dalle concerne uniquement la surface incluse dans le rectangle rouge de la Figure 28. En effet, au niveau de la cage d'escalier, la dalle existante est préservée car elle se situe au-dessus de la cave ; elle peut donc être isolée facilement de part et d'autre de son épaisseur. Seul un pont thermique, dont sa résolution est expliquée au paragraphe suivant, subsiste.

La dalle structurelle en béton de la cage d'escalier est disquée au niveau de l'emplacement du futur porche afin d'assurer la continuité de l'isolant en fibre de bois (Figure 29). En effet, d'après l'architecte, si la dalle était restée telle quelle, il n'aurait pas été possible d'éliminer les ponts thermiques. Elle est alors reprise par deux linteaux métalliques qui prennent appuis dans le mur mitoyen droit et dans le mur porteur de cave. Le tout est placé dans un caisson isolé. Ces linteaux sont de type HEA 100. Des informations supplémentaires concernant ces linteaux sont données plus loin.



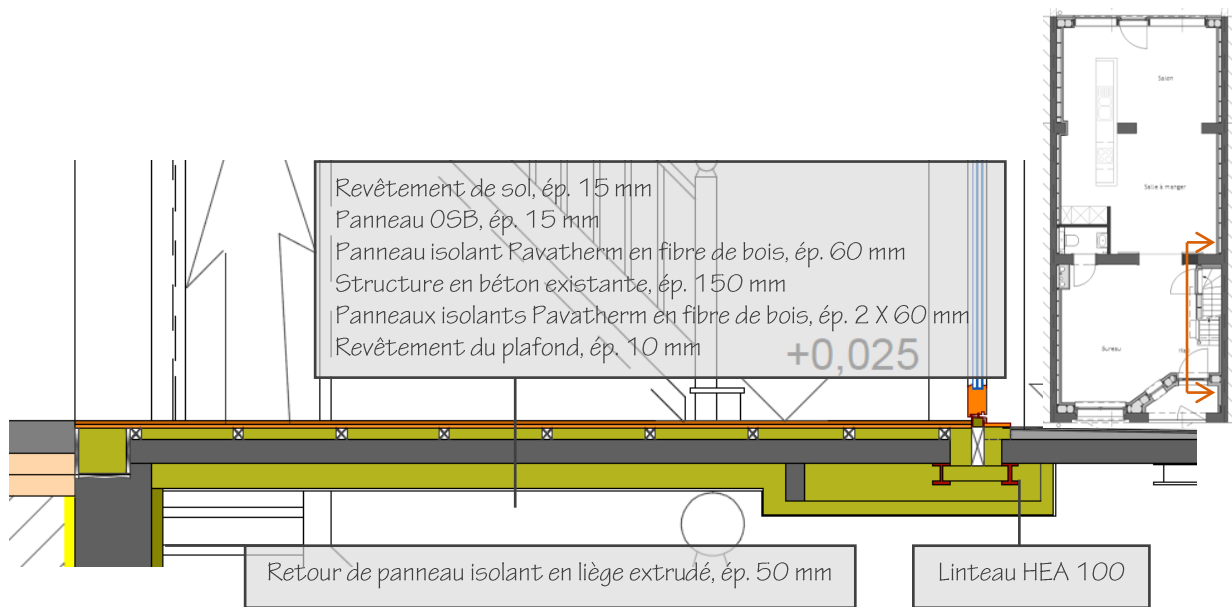


Figure 29 - Détail de la dalle en béton coupée, mesures en [mm] (Source : Alexandre O., 2011)

### ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR DE LA FAÇADE ARRIÈRE

Le choix s'est orienté vers une isolation par l'extérieur car cette solution est moins contraignante d'un point de vue mise en œuvre et pose moins de problème de condensation ; ceci sera expliqué dans le bilan.

Tout d'abord, l'annexe est détruite car ce type de construction est généralement sous-dimensionné. De plus, la toiture accueillera une toiture végétalisée intensive (Photo 19) dont la charge vaut environ 300 kg/m<sup>2</sup> quand la terre est saturée<sup>23</sup>. Une structure conséquente en toiture est ainsi nécessaire pour reprendre les charges. Elle est constituée de poutres FJI de 360 mm de hauteur accrochées à l'aide de sabots métalliques à une autre poutre FJI perpendiculaire. Cette dernière est fixée sur le mur porteur de la façade arrière par des ancrages chimiques (Photo 20). Des cales d'une hauteur variant entre 0 et 60 mm permettent de réaliser la faible pente de la toiture verte afin d'évacuer le surplus d'eau de pluie dans les gouttières.



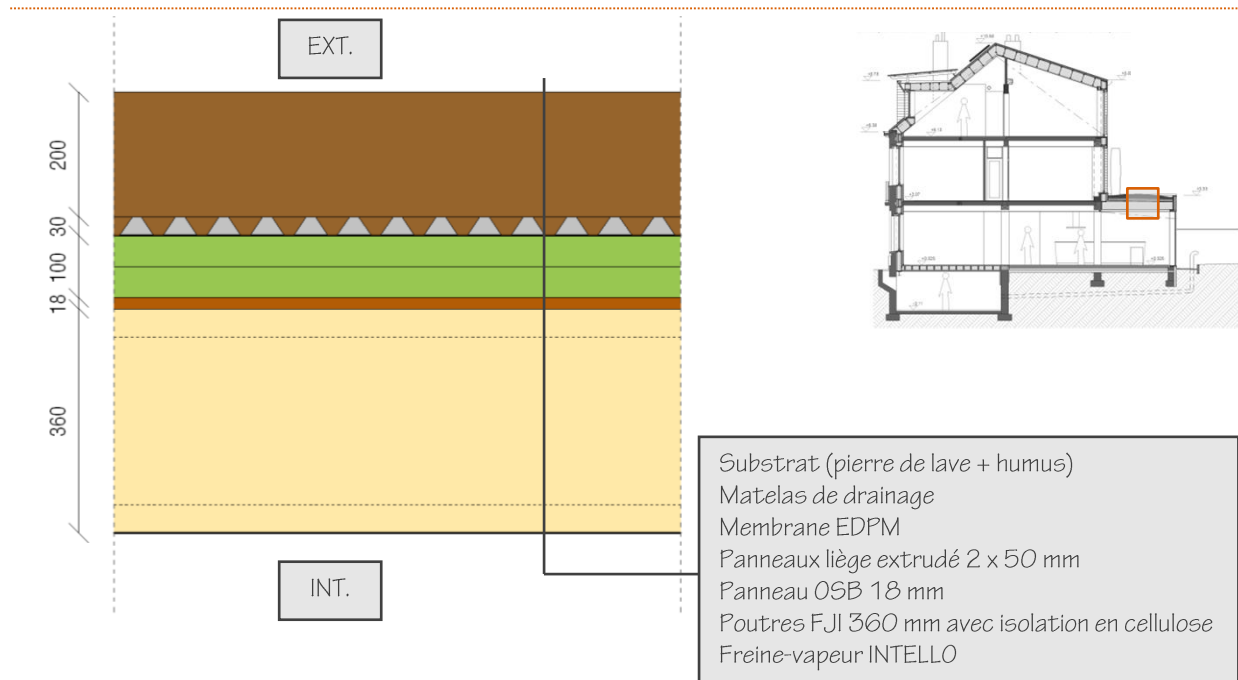
Photo 19 – Toiture verte intensive de l'annexe (Source : Alexandre O., 2011)



Photo 20 – Structure de la toiture verte (Source : Alexandre O., 2011)

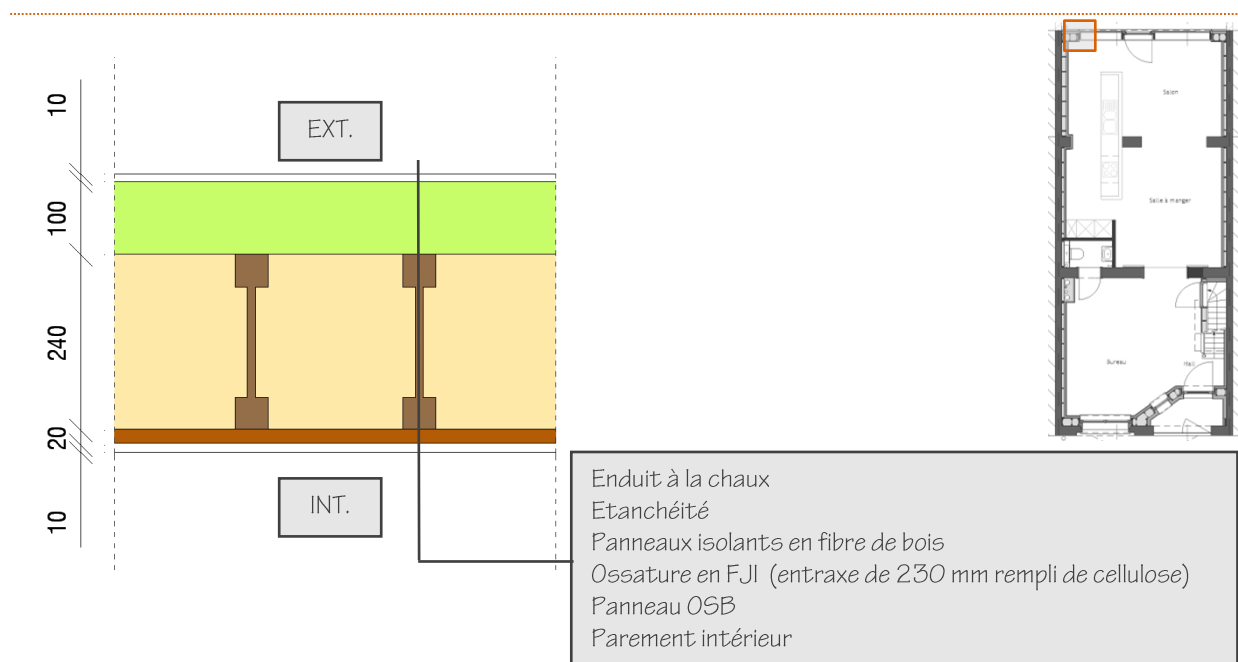
<sup>23</sup> L'épaisseur de substrats est de 20 cm.

La composition de la toiture verte est donnée à la **Figure 30**.



**Figure 30 - Détail de la toiture verte de l'annexe, mesures en [mm]**

En ce qui concerne la façade de l'annexe au rez-de-chaussée, elle est matérialisée par une ossature en FJI de 240 mm (**Figure 31**) et par un mur-rideau préfabriqué en atelier. Les profilés du mur-rideau sont les Lara - Gutmann et le châssis ouvrant est le Mira Therm 68 mm - Gutmann. La société Fabribois, qui importe les profilés d'Allemagne, a réalisé et posé cette structure en bois lamellé collé (section 6 x 24 cm), et l'a également posée.



**Figure 31 - Détail de la façade de l'annexe, mesures en [mm]**

Au 1<sup>er</sup> étage de la façade jardin, une ossature en FJI de 240 mm est placée à l'extérieur de la maçonnerie existante (Figure 32). Elle formera ensuite un caisson dans lequel sera injecté de la cellulose. Par contre, au deuxième étage, la façade est démolie pour des raisons d'instabilité car son épaisseur était trop faible. Il suffisait de pousser légèrement la paroi pour qu'elle tombe. Le mur en maçonnerie existant est donc remplacé par une ossature en bois massif 180 mm, en doublage de l'ossature FJI 240 mm (Figure 33).

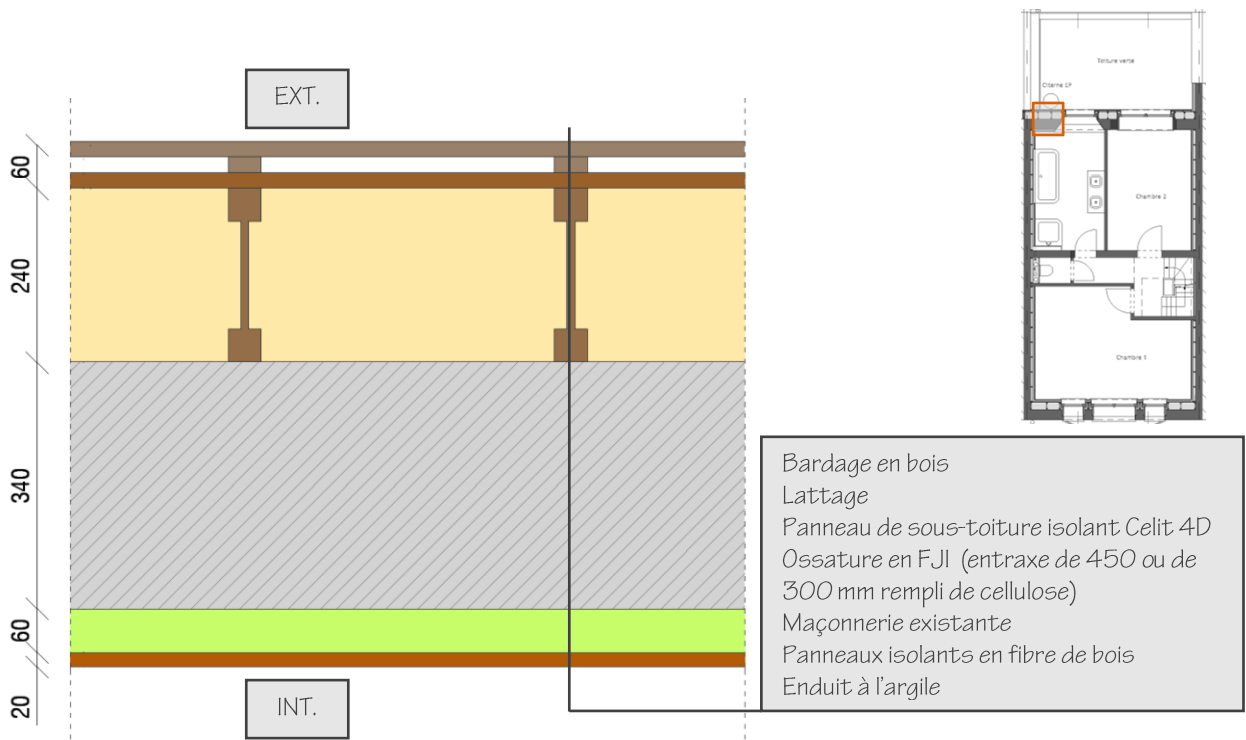


Figure 32 - Détail de la façade arrière au 1<sup>er</sup> étage, mesures en [mm]

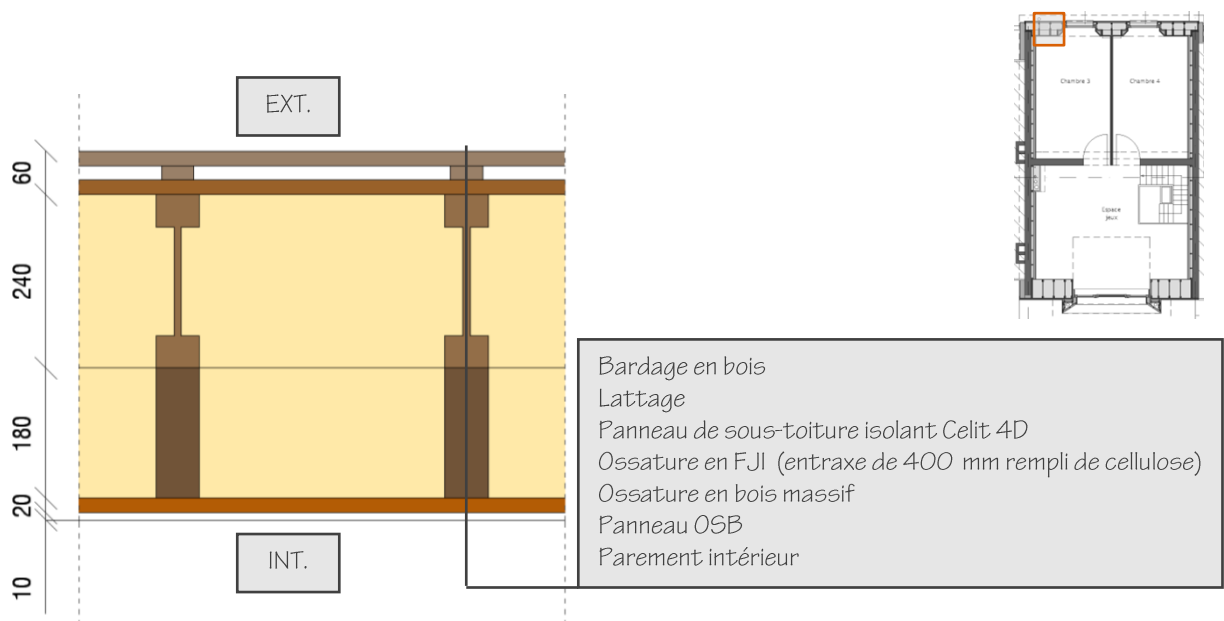


Figure 33 - Détail de la façade arrière au 2<sup>e</sup> étage, mesures en [mm]

La structure de la façade arrière est illustrée sur la **Photo 21**. Elle est ensuite couverte avec un enduit à base de chaux au rez-de-chaussée et avec un bardage en Thermowood aux étages (**Photo 22**). On distingue à gauche et à droite au 2<sup>e</sup> étage, les pignons isolés au moyen de 16 cm de fibre de bois et finis par un enduit à la chaux.



**Photo 21 - Ossature de la façade côté jardin (Source : Alexandre O., 2011)**



**Photo 22 - Façade arrière**

### ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR DE LA FAÇADE AVANT

Dans un souci de préserver l'aspect extérieur de la façade côté rue ainsi que son alignement par rapport aux habitations voisines, l'isolation de la façade avant se fera par l'intérieur. L'avantage de cette solution est la garantie de continuité de l'isolant au niveau des raccords avec le plancher du rez-de-chaussée et avec la toiture. Cependant, des ponts thermiques persistent au niveau des appuis du plancher en bois des deux étages dans la façade.

Pour les éliminer ces ponts thermiques, les extrémités des solives, de dimensions 7/18, sont découpées et ainsi désolidarisées de la façade (**Photo 23**). Avant de réaliser cette étape, il est impératif d'étaçonner correctement le plancher. De plus, il est important de signaler que dans la suite des travaux, le revêtement des planchers sera enlevé et remplacé par des panneaux OSB fixés aux nouvelles solives, de dimensions 2X3,5/18, doublant le gîtage existant.



**Photo 23 - Découpe des têtes des solives (Source : Alexandre O., 2011)**

Ce doublage est ancré dans les solives existantes par quatre boulons M16 placés en alternance sur une longueur de 80 cm. Ce dispositif n'est pas la conséquence d'une question structurelle mais permet de placer les panneaux OSB à niveau.



Pour reprendre les charges du plancher coupé, une double structure en bois est installée du côté intérieur de la façade. Elle est constituée d'une poutre recomposée, appelée aussi poutre à caissons isolés, à chaque étage. Les poutres recomposées sont constituées d'une lisse inférieure, d'une lisse supérieure et d'entretoises verticales<sup>24</sup> en bois massif. Les caissons sont isolés au moyen de fibres de bois (Pavaflex) et ils sont refermés au moyen de deux panneaux OSB III d'épaisseur 18 mm. L'ensemble est collé (colle polyuréthane) et cloué avec un pas maximum de 10 cm.



Photo 24 - Mise en place de la poutre recomposée et des supports en FJI (Source : Alexandre O., 2011)

Les poutres recomposées assurent la rigidité de l'ossature bois pour la reprise des planchers. Les têtes de gîtes du plancher du premier étage sont ensuite accrochées à la poutre recomposée via des sabots métalliques. Les premiers supports verticaux en FJI 240 mm sont dès lors placés. Ces étapes sont illustrées sur la Photo 24 et sur la Figure 34.

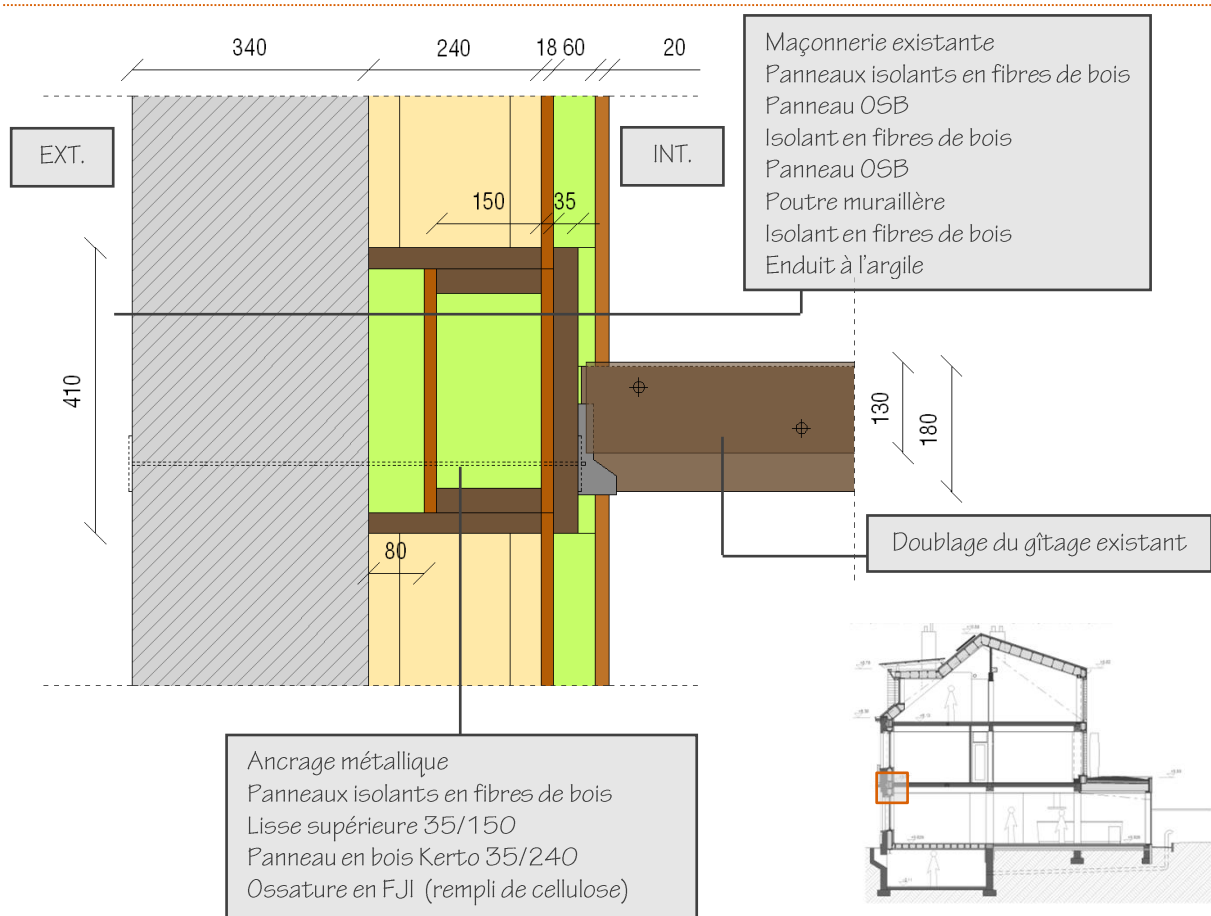


Figure 34 - Détail en coupe de la façade avant, mesures en [mm]

<sup>24</sup> Les entretoises ont une dimension de 35 mm de large sur 150 mm de haut et l'entraxe des entretoises est de 40 cm.



Après, vient la mise en oeuvre de l'ossature du porche d'entrée avec des montants également en FJI 240 mm (Photo 25). Une fois ceci terminé, la double structure de la façade est contreventée au moyen de panneaux OSB de 18 mm (Photo 26). Ils jouent également le rôle de freine-vapeur pour éviter un risque de condensation sur la face intérieure du mur en maçonnerie. L'isolant en cellulose est alors insufflé dans ces caissons. Un second isolant est ensuite placé et enduit à l'argile. Le détail de la paroi de la façade avant est illustrée à la Figure 35.



Photo 25 - Ossature en FJI du porche d'entrée (Source : Alexandre O., 2011)



Photo 26 - Contreventement de la façade (Source : Alexandre O., 2011)

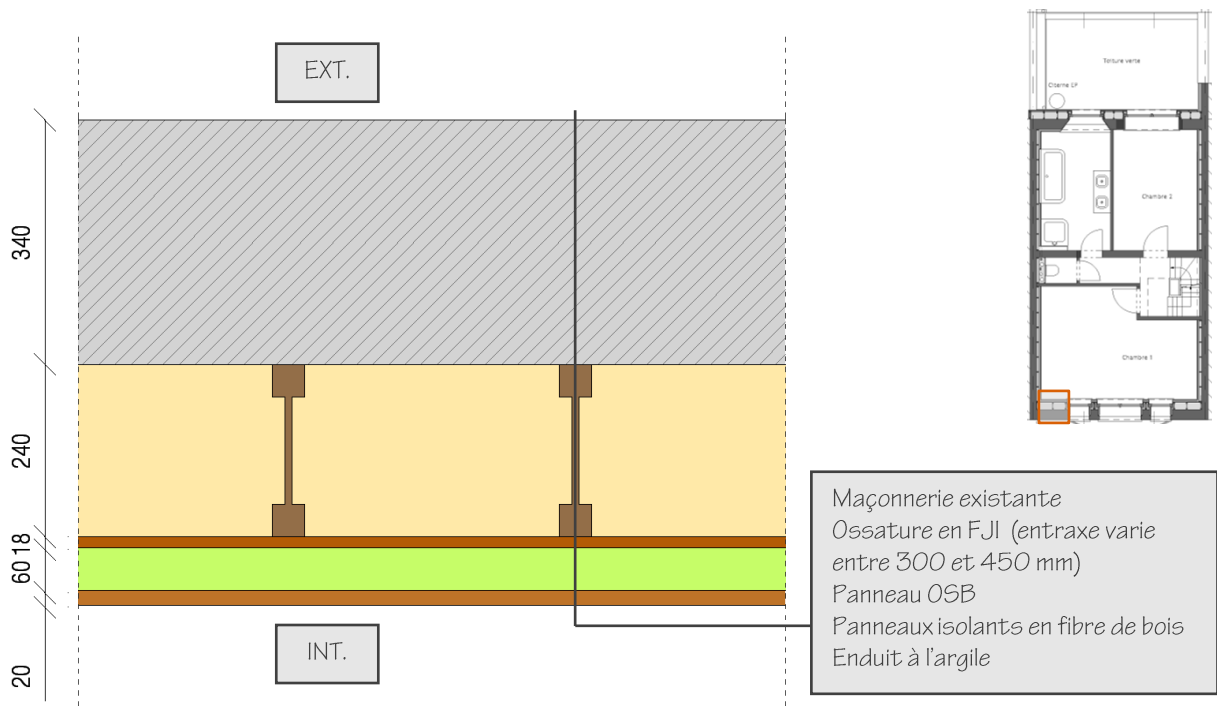


Figure 35 – Détail en plan de la façade avant, mesures en [mm]

La double structure intérieure est ensuite reprise en cave où un linteau métallique HEA 200 (Photo 27) a été mis en place avant le montage de l'ossature. Il est ancré dans le mur mitoyen gauche et le mur porteur secondaire sur des asselets de répartition (Figure 36). La seconde partie de la nouvelle structure est, quant à elle, posée sur les deux linteaux HEA 100 de la Figure 29.



Photo 27 - Linteau métallique HEA 200

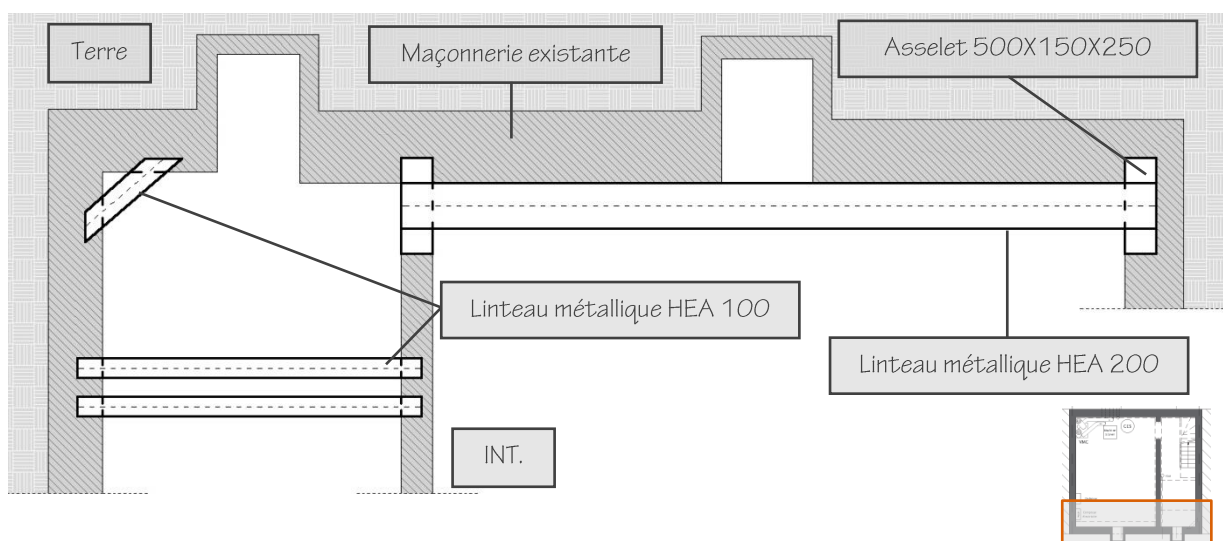


Figure 36 – Reprise de la double structure en cave, mesures en [mm]

Une fois tous ces travaux réalisés, la stabilisation des façades est rendue nécessaire par la désolidarisation complète des planchers du bâtiment. La stabilisation doit être telle qu'elle assure la stabilité complète des maçonneries des façades. A cet effet, des ancrages métalliques sont nécessaires. L'épinglage de la façade est constitué d'une tige filetée de diamètre 16 mm ancrée dans la structure des planchers et d'une plaque en inox d'au moins 200 X 200 X 10 mm appliquée contre la maçonnerie à épingler (Photo 28 et Photo 29).



Photo 28 - Epinglage extérieur de la façade avant



Photo 29 - Epinglage intérieur de la façade avant

Ces ancrages sont au nombre de quatre par niveau, à savoir deux rangées de quatre épinglages, situés au droit des structures des planchers. Au niveau du plancher du 1<sup>er</sup> étage, ces épingles sont réalisées de part et d'autre du balcon existant (Photo 29).

### ISOLATION DE LA CHARPENTE

Contrairement à ce qui avait été présenté dans le dossier d'appel à projets « bâtiments exemplaires 2008 » de Bruxelles, la charpente de la toiture n'est pas renforcée. Elle est donc démontée et reconstruite car celle-ci s'est avérée instable. Elle est remplacée par une nouvelle charpente en poutres FJI 400 mm fixées par des sabots métalliques sur une filière continue perpendiculaire. Cette filière, réalisée en lamellé collé, est placée le long des mitoyens dans le sens de la pente. Cette technique est identique à celle utilisée pour la toiture de l'annexe. Elle est ancrée au moyen de tiges filetées scellées chimiquement dans les maçonneries existantes (tige de diamètre 16mm).



Photo 30 - Structure de la nouvelle charpente (Source : Alexandre O., 2011)

La photo de gauche illustre l'étrésillonnage de la charpente (Photo 30) pour éviter que les éléments FJI ne se déversent. L'isolant de 10 cm d'épaisseur s'arrête à ras des murs mitoyens côté extérieur. Les chevrons, fixés aux murs, ainsi que les couches supérieures arrivent en porte-à-faux sur 16 cm pour protéger la fibre de bois (Photo 31).



Photo 31 - Structure de la nouvelle charpente (Source : Alexandre O., 2011)

La Figure 37 illustre la composition de la toiture du bâtiment principal. Il est important de spécifier que, plus tard dans l'avancement des travaux, le freine-vapeur INTELLO a dû être remplacé par un panneau OSB dans la zone de la lucarne dans le but de renforcer la structure en FJI car une flèche pouvait déjà être observée.



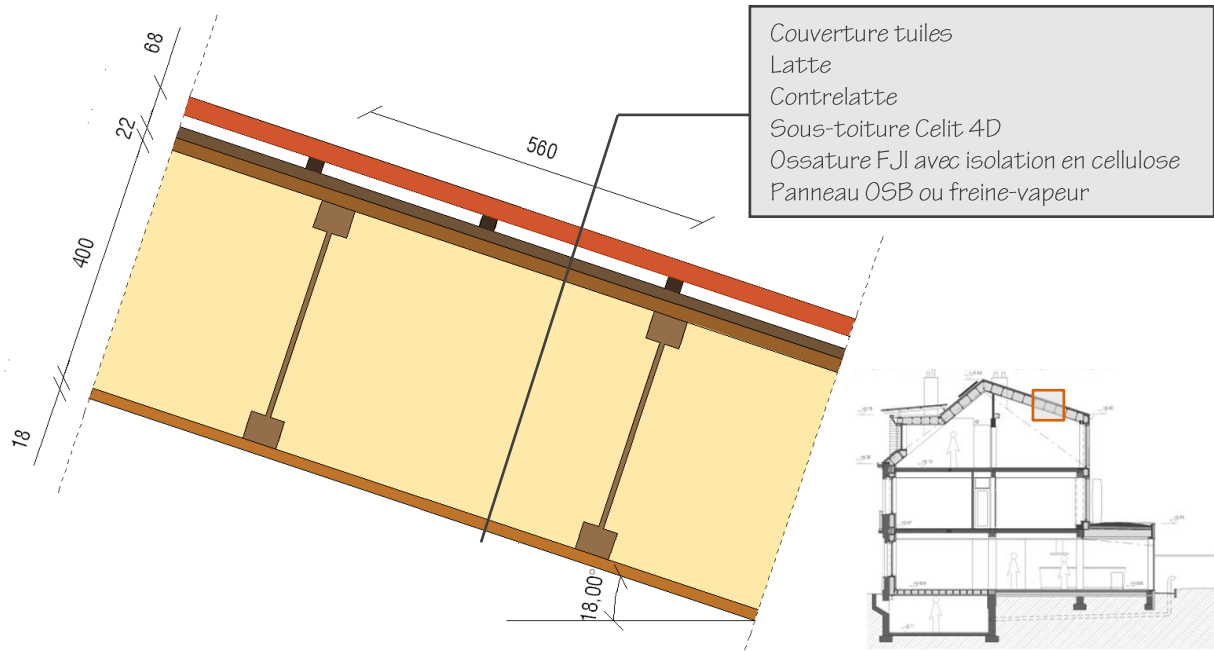


Figure 37 - Détail de la toiture à versant, mesures en [mm]

### ISOLATION DES MURS MITOYENS

L'isolation des murs mitoyens est réalisée avec l'aide d'une ossature en bois (Figure 38). Elle est constituée d'un cadre en bois fixé aux planchers et à la double structure et à l'intérieur de celui-ci, de montants verticaux. Il est ensuite fermé par une membrane freine-vapeur, placée de manière parfaitement continue du rez-de-chaussée à la toiture, et rempli de cellulose insufflée.

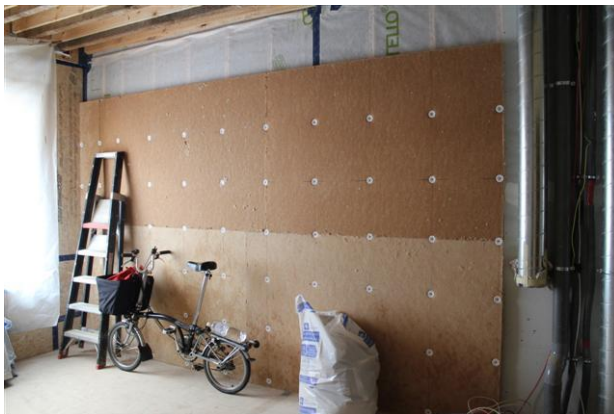


Photo 32 - Mise en place des panneaux en fibre de bois

Les panneaux en fibre de bois sont alors ancrés dans les montants verticaux avec des chevilles à rosace comme l'illustre la photo ci-dessus. Ensuite, les panneaux sont enduits d'argile (Photo 33).



Photo 33 - Enduit à l'argile des murs intérieurs

Placer le freine-vapeur entre deux couches d'isolant au lieu de le placer entre l'isolant en fibres de bois et le revêtement intérieur semble inhabituel.

Voici l'explication : Le principe général est que le freine-vapeur a été placé du côté chaud, mais en ménageant un « espace technique » de 6 cm pour le passage des câbles électriques sans percement de celui-ci. Comme cet espace technique est isolé, le freine-vapeur se trouve effectivement entre deux couches

d'isolation. La couche vers l'extérieur est nettement plus épaisse (exemple de la façade avant : 6 cm de fibres de bois / OSB / 24 cm de cellulose), et dans ce cas, le freine-vapeur continuera à jouer pleinement son rôle. En ce qui concerne les murs mitoyens (6 cm de fibres de bois / Intello continu du rez-de-chaussée jusqu'au 2<sup>e</sup> étage / 8 cm de cellulose), celui-ci joue uniquement le rôle de membrane d'étanchéité à l'air, étant donné que nous sommes entre deux espaces chauffés (les habitations voisines) et théoriquement équilibrés au niveau des pressions qui influencent le sens de diffusion de la vapeur d'eau. L'étanchéité à l'air aurait pu être réalisée avec un panneau en OSB mais à un prix nettement plus élevé. Pour rappel, l'OSB a été privilégié en façade car, en plus de son rôle de freine-vapeur, il sert de contreventement à la nouvelle structure intérieure en FJI.

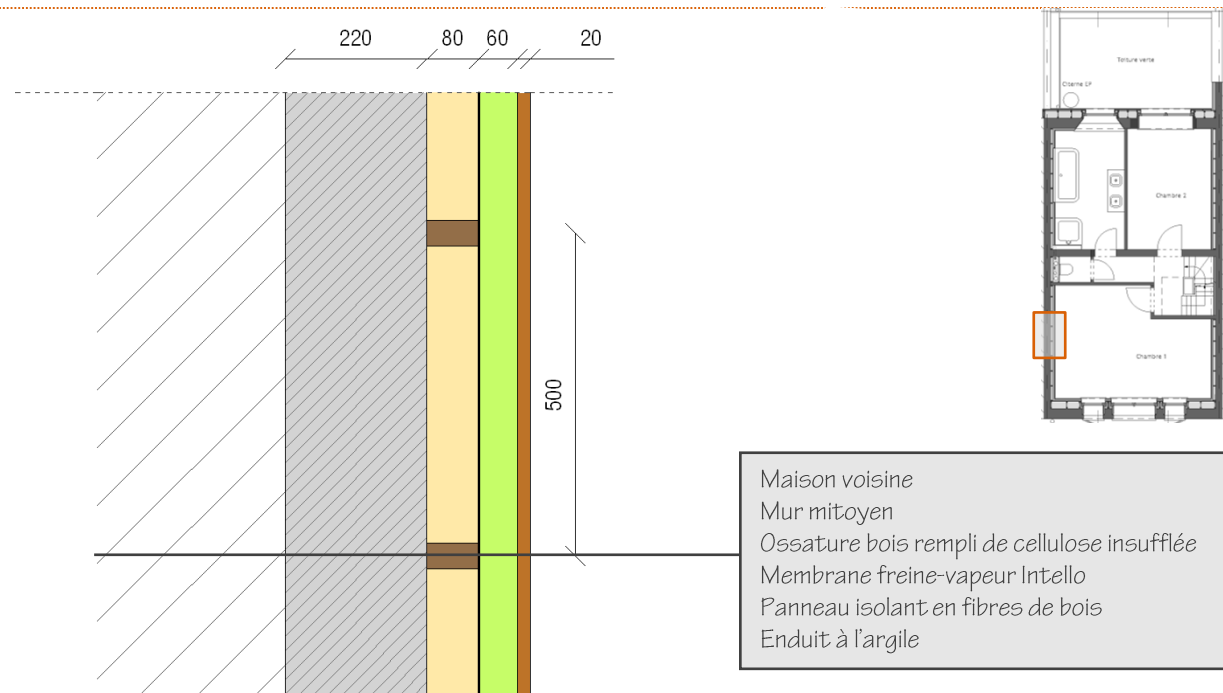


Figure 38 - Détail de l'isolation du mur mitoyen, mesures en [mm]

Cette composition de paroi est mise en œuvre sur tous les murs mitoyens à l'exception du mur mitoyen gauche de l'annexe. En effet, sa déperdition thermique étant plus importante, elle est composée d'une ossature remplie de cellulose plus épaisse (150 mm au lieu de 80 mm) suivi d'un double lattage dans lequel est inséré un isolant en chanvre (Photo 34 et Photo 35).



Photo 34 - Pose de l'ossature, de la membrane et du lattage  
(Source : Alexandre O., 2011)



Photo 35 - Chanvre posé dans lattage et contre-lattage  
(Source : Alexandre O., 2011)

### 3.5 DESCENTES DE CHARGES

Les calculs des descentes de charges sont dans l'annexe B de même que les explications et les hypothèses. Seuls certains résultats sont présentés ici. Ils permettent de comparer les charges linéaires sur les fondations à l'ELU. Les charges des planchers et de la double structure sont transmises à des linteaux métalliques de type HEA. Ces derniers sont ancrés dans les murs mitoyens et dans le mur porteur central uniquement présent dans la cave. L'ensemble de ces charges sont transférées ponctuellement par l'intermédiaire d'un asselet de répartition. Elles vont alors se diffuser dans le mur de cave suivant un angle de 60° et donc, de 30° par rapport à la verticale. Malgré leur répartition sur une plus grande longueur, nous pouvons remarquer sur les schémas qu'elles ont une valeur très élevée. Ceci peut se comprendre vu qu'elles reprennent uniquement à des endroits ponctuels les charges des planchers et de la double structure. Cette valeur très élevée n'est pas due principalement aux poids propres des éléments mais aux surcharges d'exploitation des planchers. A l'inverse, la façade désolidarisée des planchers induit une diminution des charges **Figure 40**, à droite.

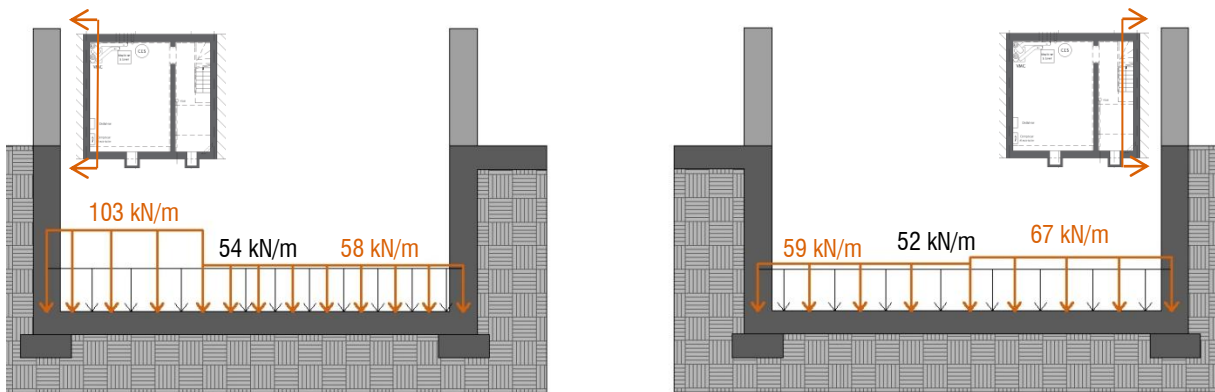


Figure 39 - Descentes de charges des murs mitoyens

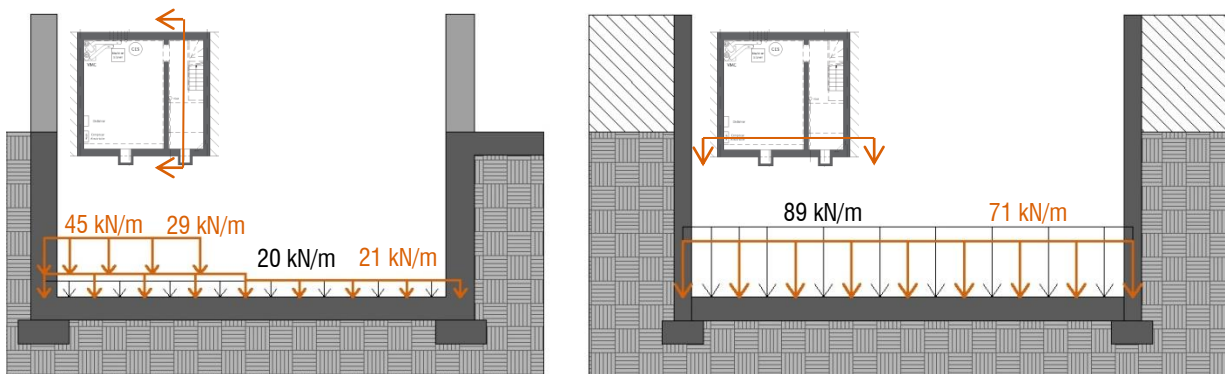


Figure 40 - Descentes de charges du mur porteur et de la façade à rue

De plus, une autre problématique de cette technique concerne l'ancrage des linteaux dans les murs mitoyens. Il est plus judicieux de ne pas s'appuyer contre un mur dont l'état exact n'est pas connu. Il faut s'assurer qu'il peut résister à de telles charges, qui sont, à certains endroits, nettement supérieures à celles de la situation existante.

Il aurait fallu trouver un autre moyen pour permettre une meilleure répartition des charges. Une solution alternative est de descendre la structure en FJI jusqu'au sol de la cave. Les intervenants du projet ne l'ont

sans doute pas exécutée car la structure est isolée avec de la cellulose ; or, la cave ne fait pas partie du volume chauffé. Cette solution n'est donc pas cohérente. Par contre, des blocs, de type Ytong, peuvent être placés jusqu'au sol de la cave sous la structure en bois qui s'arrête au plancher du rez-de-chaussée.

Outre au niveau des charges transmises aux fondations, la double structure amène à se poser d'autres questions :

- Le plancher est fixé à la poutre par l'intermédiaire de sabots métalliques. Les charges du plancher provoquent une réaction d'appuis sur la poutre<sup>25</sup> :

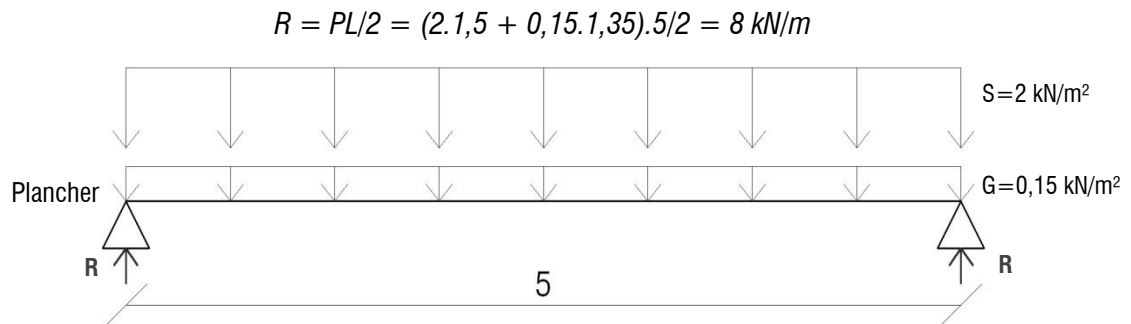


Figure 41 - Réaction de la poutre aux charges du plancher (coupe)

La poutre est alors soumise à un moment :

$$M = P.L^2/8 = 10 \text{ kN.m/m}$$

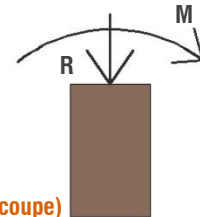


Figure 42 - Moment de la poutre recomposée (coupe)

Les charges sont transférées d'un élément à l'autre via les fixations des sabots, ce qui induit du cisaillement :



Figure 43 - Cisaillement entre le plancher et la poutre (coupe)

$$P.H = M$$

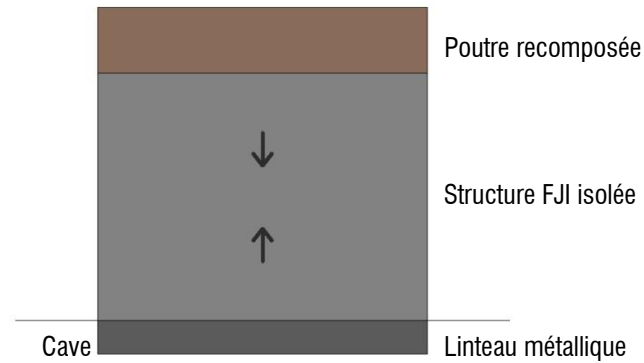
$$P = M/H = 10/0,3 = 33 \text{ kN}^{26}$$

Il est important de vérifier que ce type de structure puisse supporter un tel cisaillement.

<sup>25</sup> Dans les calculs qui suivent, seul le poids du gîtage, appelé plancher dans les schémas, est pris en compte.

<sup>26</sup> Sur un mètre.

- Le caisson isolé composé de poutres FJI verticales et de cellulose est placé au niveau du rez-de-chaussée entre la poutre muralière du plancher du 1<sup>er</sup> étage et les linteaux de la cave. Il est ainsi soumis à de la compression. Il est donc nécessaire de s'assurer que ces éléments ont une résistance suffisante :



**Figure 44 - Compression de la structure FJI**

Le poids transmis à la structure du rez-de-chaussée est donné par :

$$2.R + PP\_structure = 2.8 + 1,35.3,2 = 20,32 \text{ kN}^{27}$$

La contrainte de cette dernière vaut donc :

$$\sigma = F/A \leq \sigma_a$$

$$\sigma = 20,32/(0,32.1) = 63,5 \text{ kN/m}^2 \leq \sigma_a$$

La contrainte admissible est celle relative à la compression axiale donnée dans le cahier des charges, à savoir 18 N/mm<sup>2</sup>.

D'autres points structurels font l'objet d'un questionnement, notamment la toiture verte. Ils seront abordés de manière générale dans la dernière partie du travail, le bilan de l'analyse.

<sup>27</sup> Sur un mètre.



## 4 MAISON EN CŒUR D'ÎLOT | SCHAERBEEK

### 4.1 FICHE D'IDENTITÉ



Figure 45 – Vue générale du bâtiment (Source : IBGE, 2007)



Figure 46 - Implantation (Source: Bureau Modelmo, 2010)

**PROGRAMME :** Maison unifamiliale 3 chambres  
**RÉNOVATION :** Rénovation en profondeur d'une arrière-maison entre trois murs mitoyens sans changement de gabarit. Rénovation au standard passif (15 kWh annuel par m<sup>2</sup> en besoin de chauffe), appuis solaire thermique et photovoltaïque.

**IMPLANTATION :** En ville (1030 Bruxelles) en cœur d'îlot. Avenue du Diamant 71, 1030 Schaerbeek

**SURFACE DU BÂTIMENT :** 172 m<sup>2</sup>

**MAÎTRES D'OUVRAGE :** M. Schuijt et Mme Maher

**ARCHITECTE :** Bureau d'architecture Modelmo

**BUREAU D'ÉTUDES :** Ally & Be consult

**CONCEPTION :** 2007

**EXÉCUTION :** 2009-2010

Projet lauréat de l'appel à projet 2007 de l'IBGE

"Bâtiments exemplaires :

Energie & Eco-construction"

**RÉCEPTION DES TRAVAUX :** Octobre 2010

**COÛTS DE CONSTRUCTION HTVA, HORS PRIMES :**

1.063 €/m<sup>2</sup>

### 4.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

Les informations relatives au bâtiment ci-dessous proviennent des « *info fiches-Bâtiments Exemplaires 2007* » [IBGE, 2007].

#### GÉNÉRAL

Située dans la commune de Schaerbeek à Bruxelles, cette maison de type bourgeoise devait être démolie. Cependant, les propriétaires ont décidé de lui donner un second souffle en la rénovant. Cette idée est née lors des journées Maisons Vertes de l'IBGE. Celles-ci permettent au public de visiter différents bâtiments publics ou privés accompagné d'un expert responsable (architecte, entrepreneur,...).

## RÉNOVATION PROFONDE

La rénovation comprend tout d'abord une isolation thermique aux exigences très poussées afin d'atteindre le standard passif de 15 kWh/m<sup>2</sup>.an. De plus, d'un point de vue technique, la maison sera pourvue d'une ventilation double flux avec récupérateur de chaleur et d'un chauffe-eau solaire. La cuve de stockage de ce dernier ainsi que la batterie de chauffage de la ventilation seront chauffées en complément par la chaudière à condensation au gaz existante. D'autres dispositifs sont mis en œuvre : une citerne d'eau de pluie de 5 m<sup>3</sup>, des panneaux photovoltaïques d'une superficie totale de 24 m<sup>2</sup> pour la production d'électricité et des panneaux solaires pour la production d'eau chaude (chauffe-eau solaire). Des considérations écologiques ont également pris une place considérable de par l'utilisation de matériaux écologiques tels que de cellulose pour l'isolant, le bois labellisé FSC, l'absence de formaldéhydes et la réutilisation du plancher en bois, de la charpente en bois et des tuiles. Pour ce qui est du confort thermique en été, il est assuré par la masse thermique de l'ancienne bâtisse.

### 4.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ

L'habitation est une maison unifamiliale à deux étages dont la toiture est en double pente. Elle est dépourvue de grenier et de cave.

#### FONCTIONS

L'entrée de la maison se situe au premier étage avec un accès depuis un escalier extérieur. Ce niveau comprend le vestiaire, le séjour, le salon, la cuisine et un espace de rangement. Au second étage, sous la toiture, se trouvent trois chambres en enfilade distribuées par le hall de nuit et une salle de bain. Ainsi, le rez-de-chaussée est réservé pour les caves et la citerne de récupération d'eau de pluie. Notons qu'il n'existe pas d'accès direct à la cave depuis l'intérieur ; il est donc possible d'y accéder uniquement depuis l'extérieur.

#### PLANS ET COUPES

Les figures ci-dessous nous indiquent les différents plans de la maison, deux coupes et leur mesure en mètre. Elles nous fournissent notamment l'orientation de l'habitation. En effet, la façade où figure l'entrée est orientée au Sud-Est.

Les dimensions des différents plans sont identiques et sont de : 1232 – 635,5 – 1382 – 654 cm.

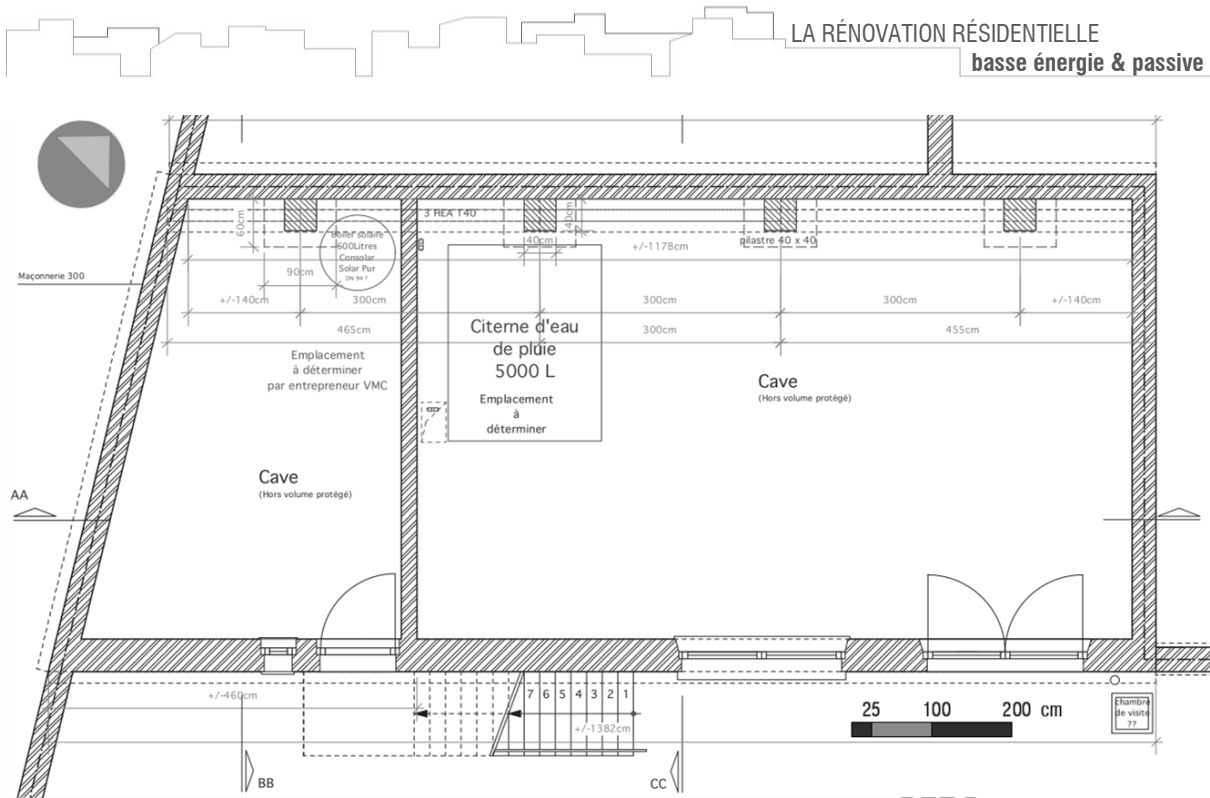


Figure 47 – Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau Modelmo, 2010)

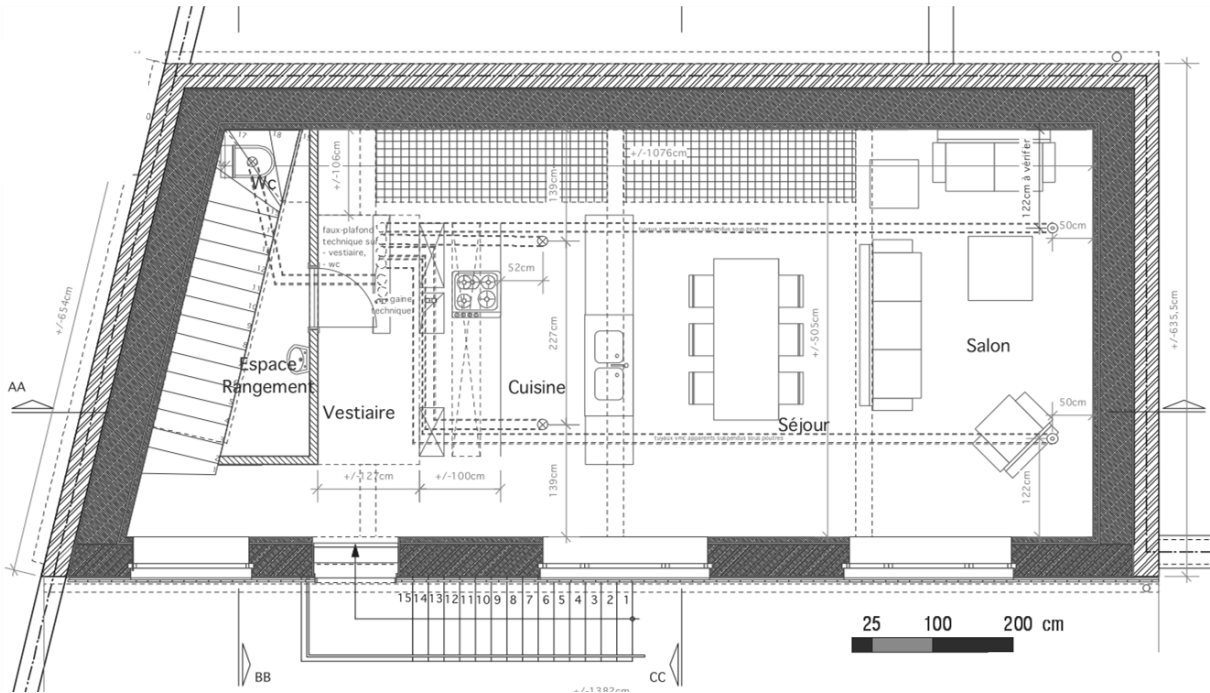


Figure 48 – Plan du 1<sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010)

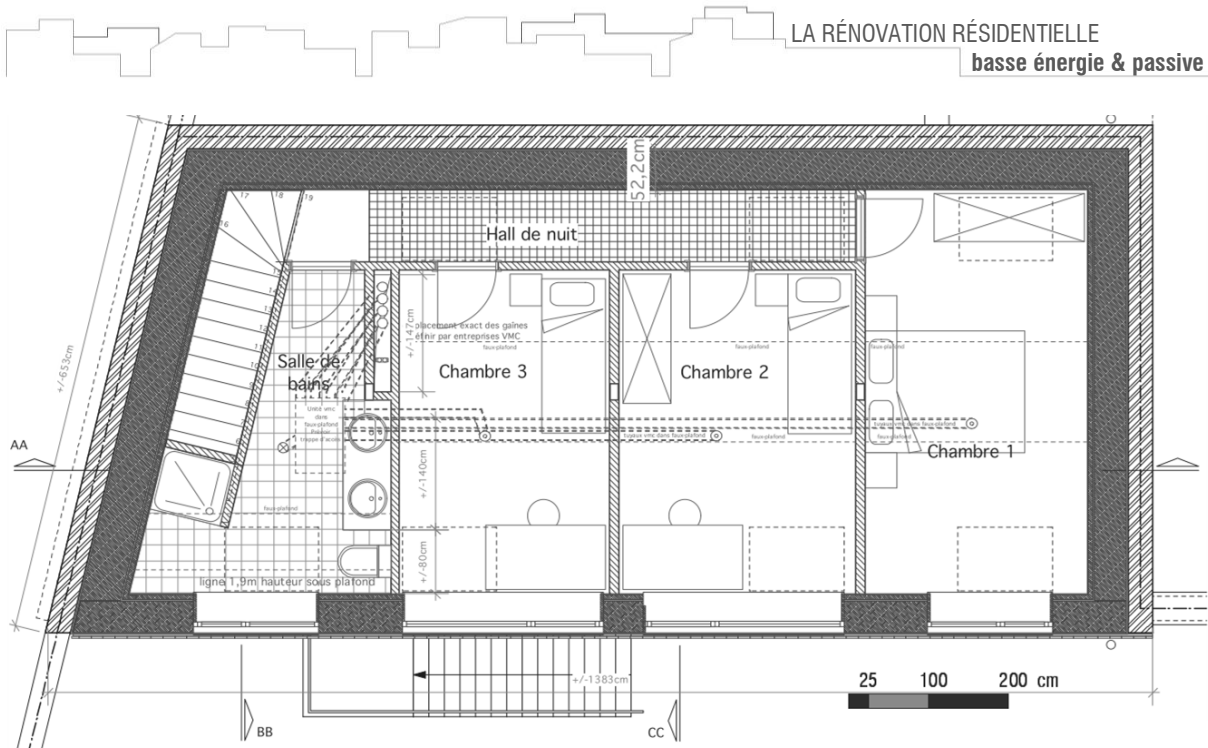


Figure 49 – Plan du 2<sup>e</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010)

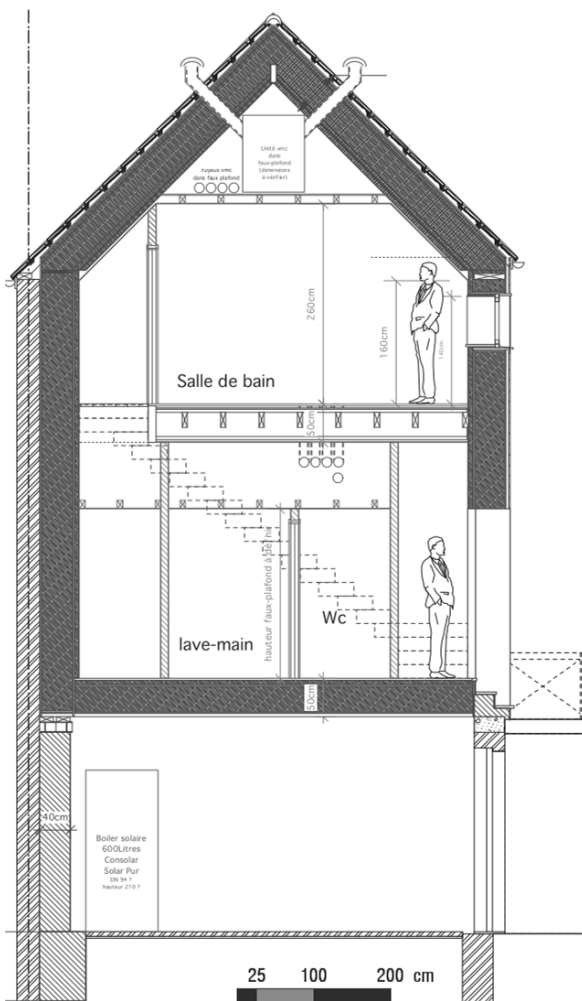


Figure 50 – Coupe transversale BB (Source : Bureau Modelmo, 2010)

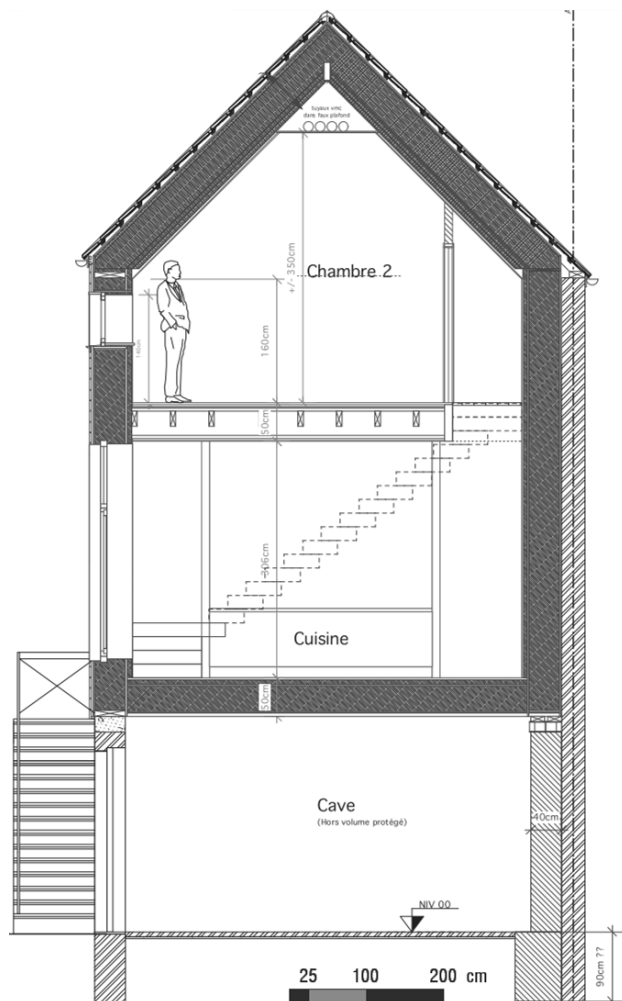


Figure 51 – Coupe transversale CC (Source : Bureau Modelmo, 2010)

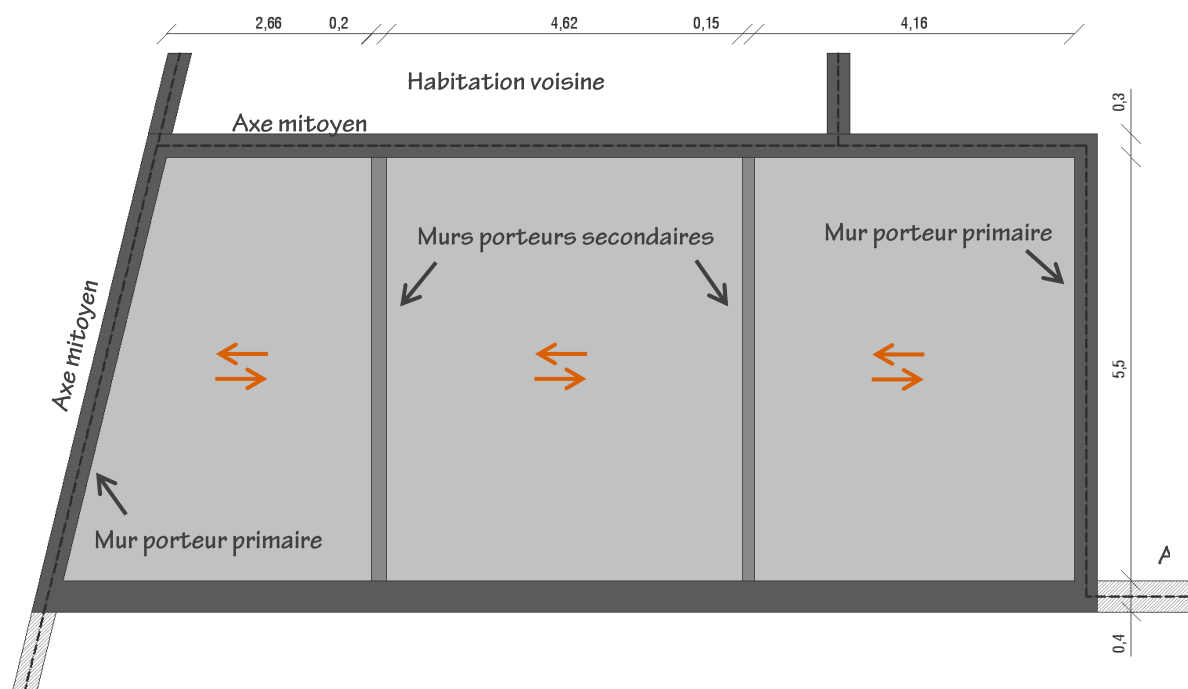
## 4.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE

L'analyse ci-dessous est réalisée grâce aux informations récoltées lors de l'interview de Mr Opdebeeck du bureau d'architecture Modelmo à Bruxelles.

### ■ DESCRIPTION AVANT RÉNOVATION

La maison située à l'intérieur de l'îlot comporte trois murs mitoyens de séparation. En effet, une arrière-maison délimite la façade nord-ouest ; des annexes définissent celle située au Sud-Ouest et enfin, un axe mitoyen fixe la frontière de la façade nord-est. Bref, seule celle du Sud-Est est complètement ouverte et donne sur une petite cour.

En ce qui concerne le système constructif des planchers du 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> étage, il s'agit de solives dont l'entraxe est de 30 cm. Elles transmettent les charges aux façades de la largeur (SO et NE) et aux deux murs porteurs intérieurs. Ces derniers permettent ainsi de limiter la longueur des solives et donc leurs sections. Ensuite, les charges sont reprises par des semelles de fondation situées hors gel.



**Figure 52 - Plan schématique de la structure générale des planchers du 1<sup>er</sup> et du 2<sup>e</sup> étage, mesures en [m]**

Ce schéma (Figure 52) illustre le fonctionnement général de la structure où les flèches oranges indiquent le sens de la portée des solives. Les murs constituant l'enveloppe du bâtiment sont en maçonnerie pleine d'environ 30 cm d'épaisseur au niveau des murs mitoyens (indiqués par les pointillés) et de 40 cm pour le mur non-mitoyen. Les murs porteurs intérieurs, également en maçonnerie pleine, varient entre 15 et 20 cm. La structure du toit est composée d'une charpente en bois portant la toiture proprement dite. L'épaisseur de cette dernière est de 20 cm. Après la rénovation, le sens de portée de l'ensemble de la structure est modifié. Il est perpendiculaire aux flèches oranges. Vu que la longueur de portée n'est pas trop élevée (5,50 m), les murs porteurs ne sont pas conservés.

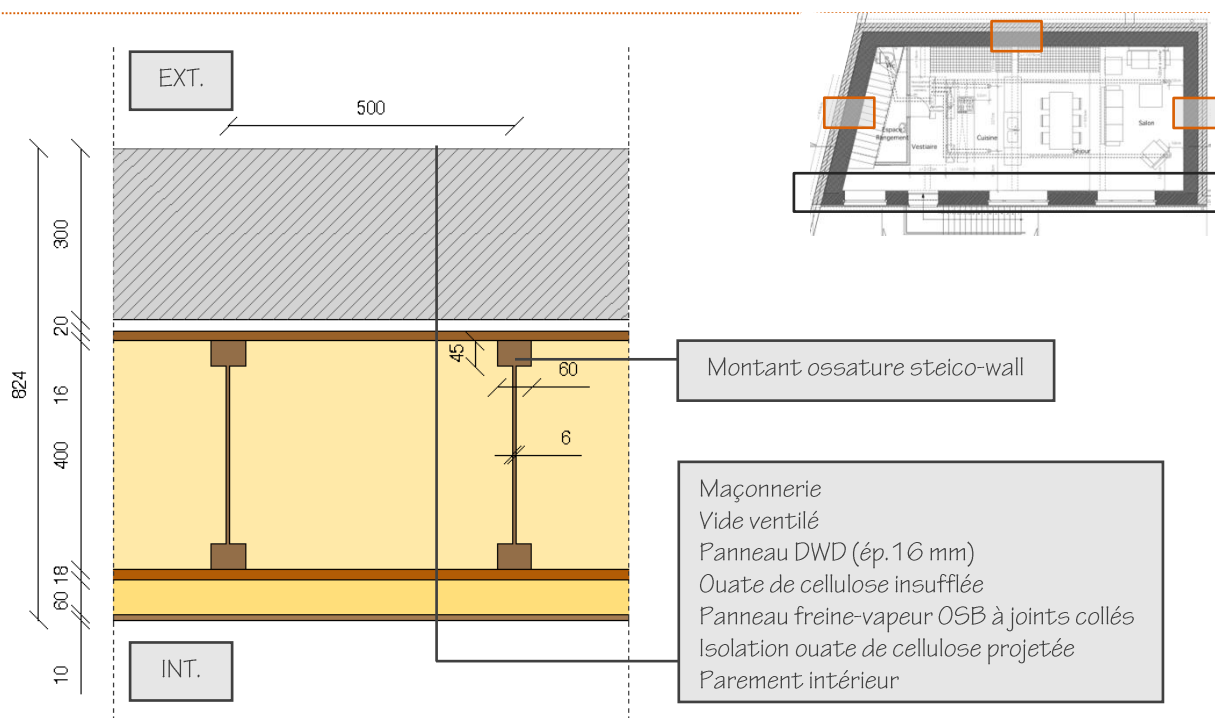


## DESCRIPTION APRÈS RÉNOVATION

Pour rappel, les trois grands principes pour atteindre le standard passif sont : l'isolation, l'étanchéité à l'air et la ventilation. Cette dernière est assurée par un système double flux avec récupérateur de chaleur comme ceci était expliqué dans la présentation du bâtiment. Cette rubrique va donc aborder les deux premiers principes. Etant donné la faible performance énergétique du bâtiment existant et les exigences élevées à atteindre, assurer l'isolation et l'étanchéité à l'air engendrent deux interventions lourdes dans cette rénovation. Pour atteindre les objectifs du standard passif, ces interventions incluent des modifications nécessaires au niveau de la structure existante, modifications qui sont traitées et analysées ci-dessous. Contrairement à la volonté de départ des propriétaires, la façade n'est pas conservée car la charpente pousse sur le mur. Ce dernier avait déjà été épinglé quelques années auparavant mais menace toujours de tomber. De plus, remplacer la façade permet d'avoir une épaisseur de paroi plus faible et donc gagner de l'espace.

### ISOLATION DE L'ENVELOPPE

L'isolation de l'enveloppe, de 46 cm d'épaisseur, est réalisée par l'intérieur. Une structure en bois, placée contre la maçonnerie existante, permet d'intégrer ces épaisseurs importantes d'isolant. L'ensemble de la nouvelle ossature a une épaisseur de 52,4 cm. Ajoutée aux 30 cm de maçonnerie existante, l'épaisseur totale du mur s'élève à 82,4 cm. Le volume intérieur perdu n'est donc pas négligeable, l'architecte a ainsi opté pour des espaces ouverts afin de contrebalancer cette perte d'espace. Il faut noter que le coefficient de transmission thermique moyen des parois,  $U$ , est de  $0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Les détails ci-dessous (Figure 53, Figure 54, Figure 55) illustrent les différentes parois de l'enveloppe isolée à savoir : murs mitoyens – le plancher du 1<sup>er</sup> étage – la toiture. Notons que le détail de la façade non mitoyenne a la même composition que les parois mitoyennes à l'exception du revêtement. En effet, au lieu de la maçonnerie, des montants steico-wall<sup>28</sup> 60X400 mm sont placés, suivis d'un panneau DWD, d'un lattage et enfin d'un bardage en bois.



<sup>28</sup> Des informations techniques sur ces montants sont disponibles sur : <http://www.ecobati.be/fr/Produits/Isolation-thermique/steico-fibres-de-bois/steico-wall.html>

Le raccord parfait entre la paroi et le plancher est possible quand l'isolation est effectuée par l'intérieur.<sup>29</sup>

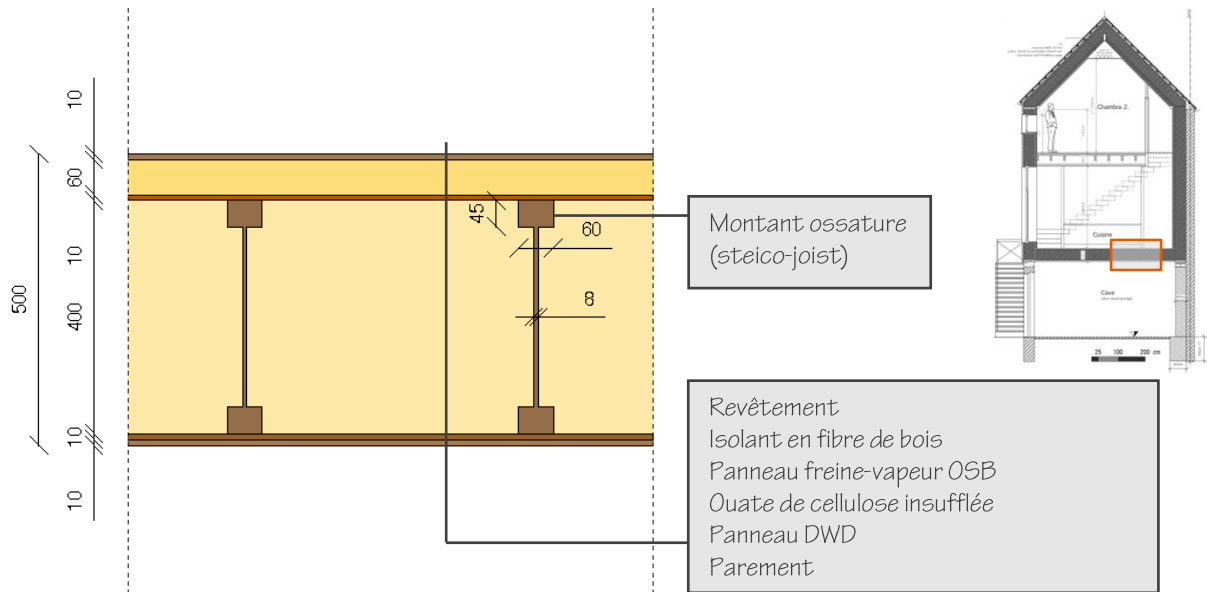


Figure 54 – Détail du plancher du 1<sup>er</sup> étage, mesures en [mm]

Au niveau de la toiture, une nouvelle structure en bois est installée pour des raisons d'instabilité de l'ancienne. Elle soutient le plafond en bois à partir du côté intérieur de l'enveloppe en maçonnerie existante.

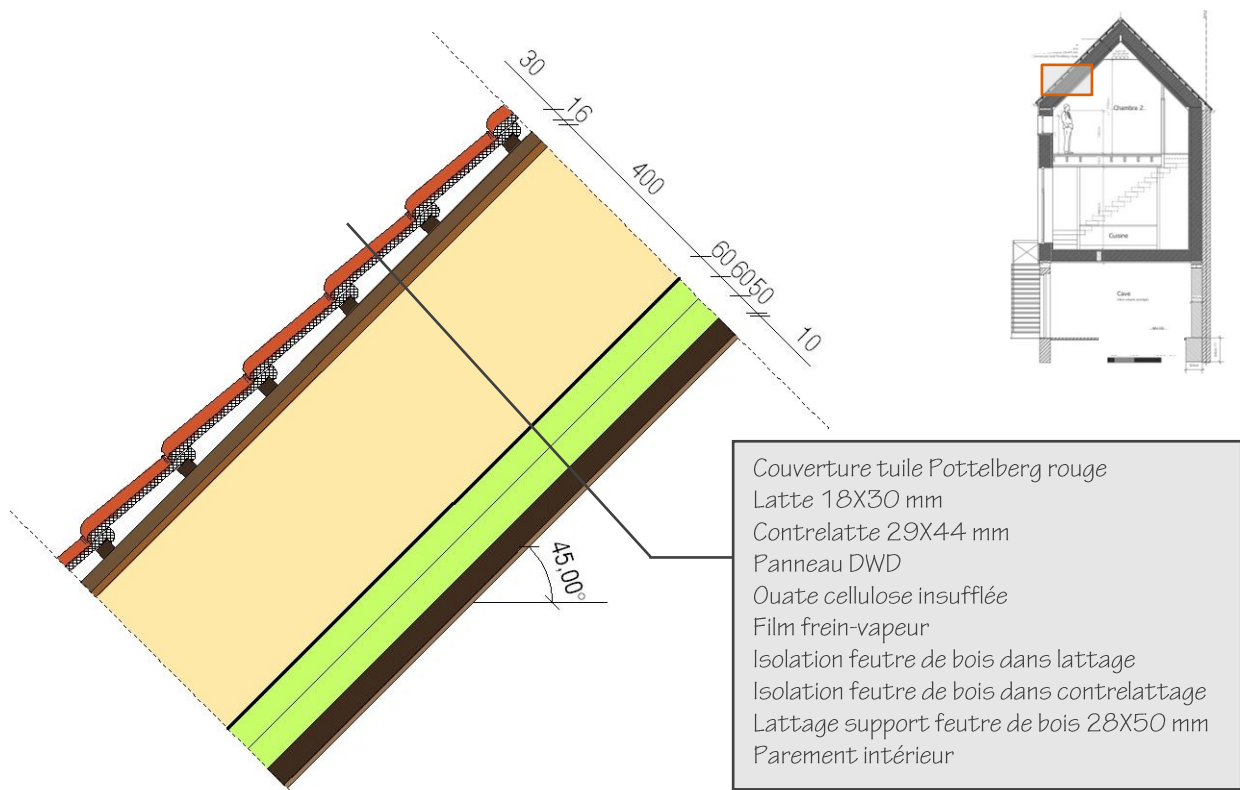


Figure 55 – Détail de la toiture, mesures en [mm]

<sup>29</sup> Notons que le détail correspond au zoom de la coupe longitudinale et non transversale car l'ossature steico-joist (<http://www.ecobati.be/fr/Produits/Isolation-thermique/steico-fibres-de-bois/steico-joist.html>) porte depuis le mur de l'entrée jusqu'au mur opposé.

### ELIMINATION DES PONTS THERMIQUES ET ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

Le parti choisi est d'isoler par l'intérieur et à cette fin, de construire "une maison dans une maison". L'objectif de ce choix est d'éviter le contact des planchers avec les murs extérieurs vu que la performance à atteindre est le passif. En effet, l'emballage depuis l'intérieur de l'enveloppe (murs et toiture) par une épaisse couche d'isolation et la mise en place de triple vitrage permettent d'éliminer les ponts thermiques. Il n'était donc pas possible de suspendre cette maison mais il fallait atteindre les fondations et "poser" la boîte sur ces dernières. Dans ce but précis, la maison a donc dû être vidée : tout détruire sauf les murs extérieurs mitoyens. Les parois démolies sont illustrées par des pointillés sur la coupe de la situation existante (Figure 56) Seuls les trois murs mitoyens, le mur de l'enveloppe situé en dessous de l'escalier et l'ensemble des parois verticales et horizontales du rez-de-chaussée sont conservés. Ce principe implique donc une modification structurelle du bâtiment ; c'est pourquoi la suite de l'analyse se centre principalement sur l'étude de la nouvelle structure. Détruire et reconstruire une nouvelle habitation serait plus simple mais le parti de conserver résulte de la réglementation urbanistique. En effet, M. Opdebeeck m'a expliqué qu'à Bruxelles, une fois un bâtiment démoli en cœur d'îlot, la construction d'un nouveau à cet endroit est interdite.

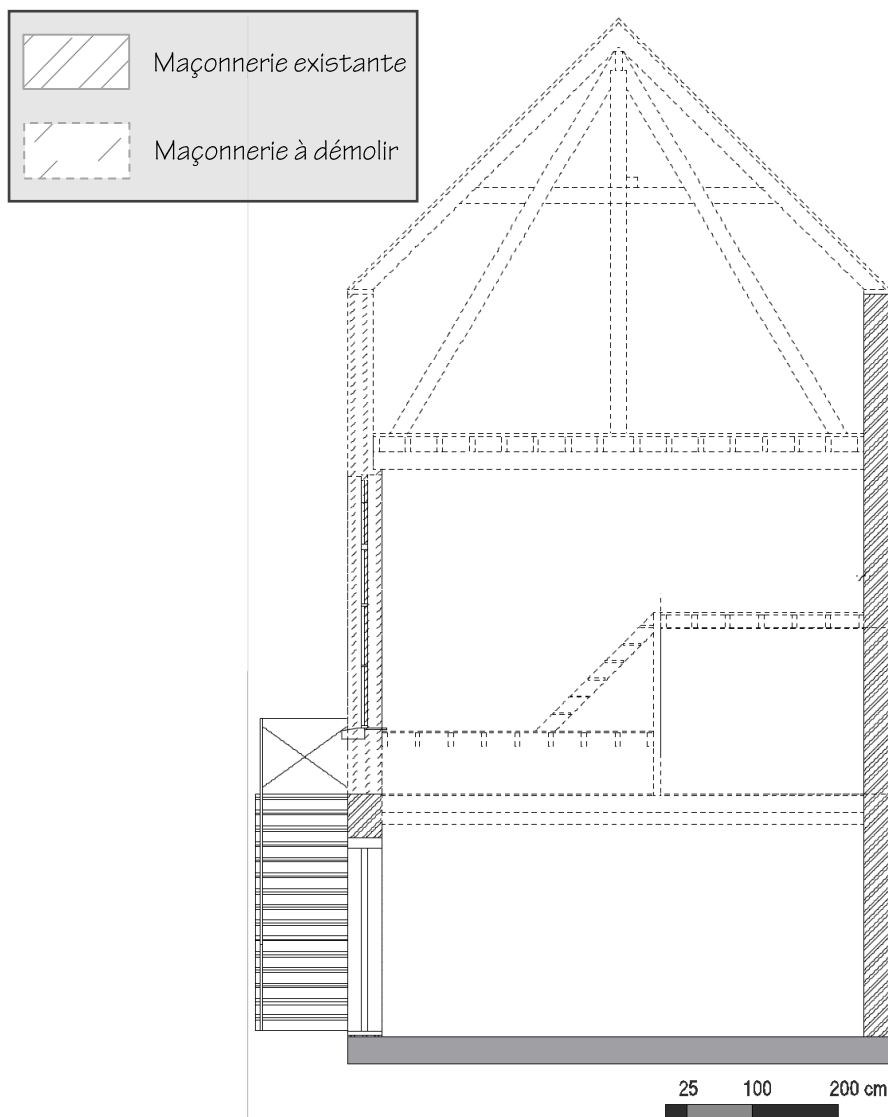


Figure 56 - Coupe schématique de la situation existante (Source : Bureau Modelmo, 2010)



Le rez-de-chaussée ne fait pas partie du volume passif car il s'agit d'une cave. Des pilastres doivent donc être placés : ce sont des colonnes qui viennent chercher le sol dans le but de porter la maison dans la maison. Après avoir ouvert le sol jusqu'aux fondations, ces dernières ont été doublées ponctuellement (à quatre endroits, en orange foncé sur la Figure 57). Leurs dimensions sont de 90 cm sur 40 cm et la distance d'entraxe est de 300 cm. Ensuite, la mise en œuvre des colonnes en maçonnerie armée, de 40 sur 40 cm, peut commencer (en orange clair sur la Figure 57). D'après l'architecte M. Opdebeeck, il n'a pas opté pour du béton coulé sur place car la mise en œuvre demandait un encombrement trop important. Sur ces colonnes, sont placées trois poutres métalliques HEA 140 dont la trace de leurs semelles est illustrée par des pointillés sur la Figure 57. Leur longueur dépend de l'entraxe des colonnes.

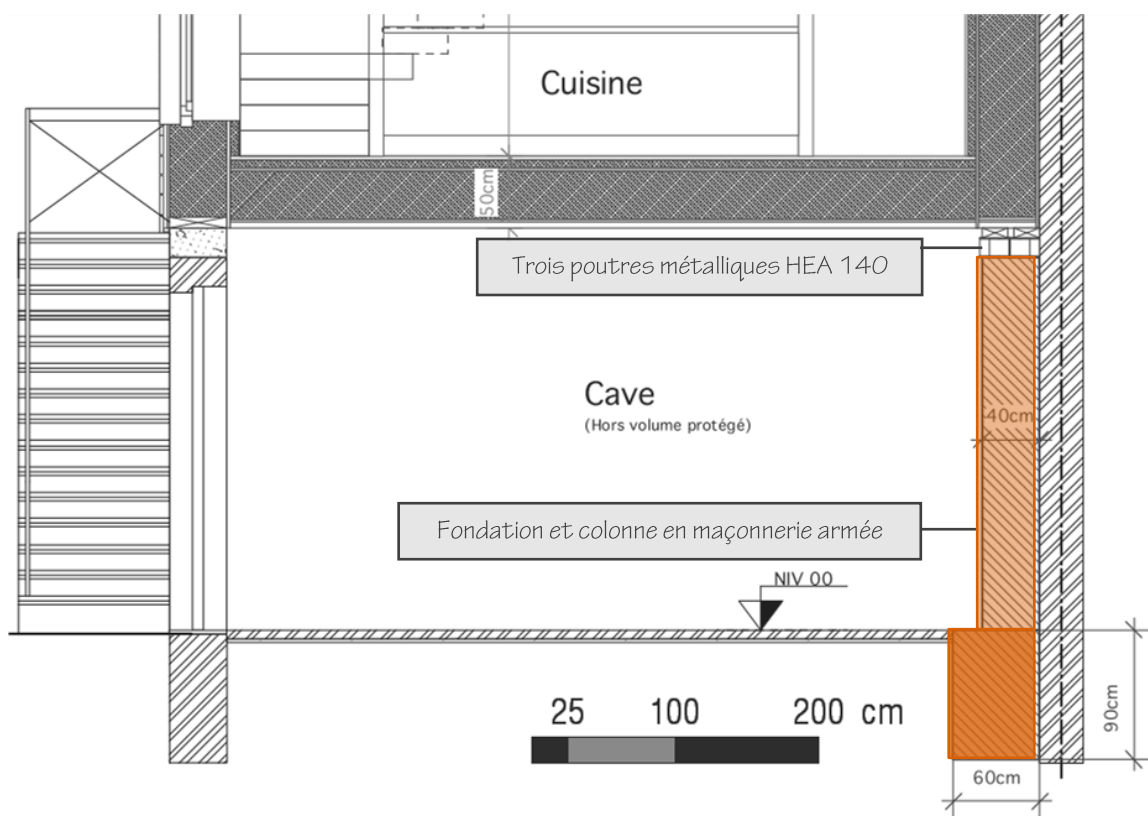
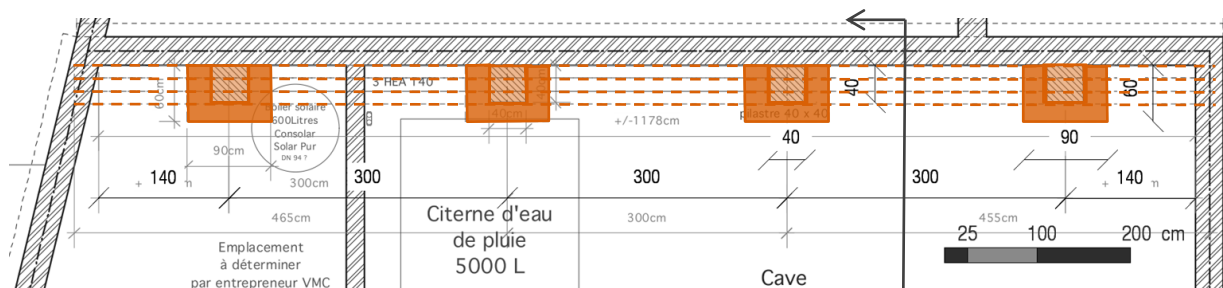
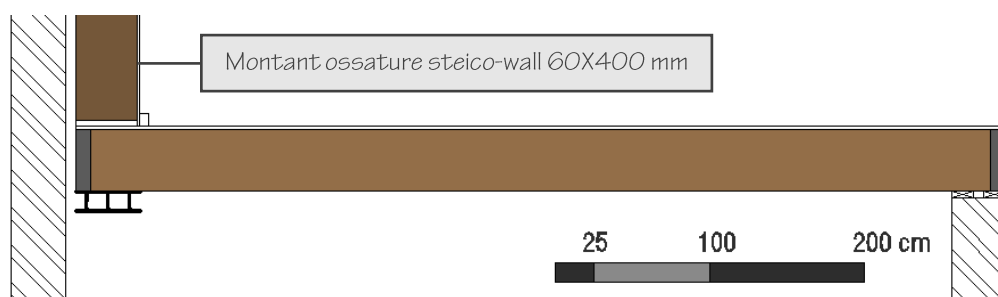
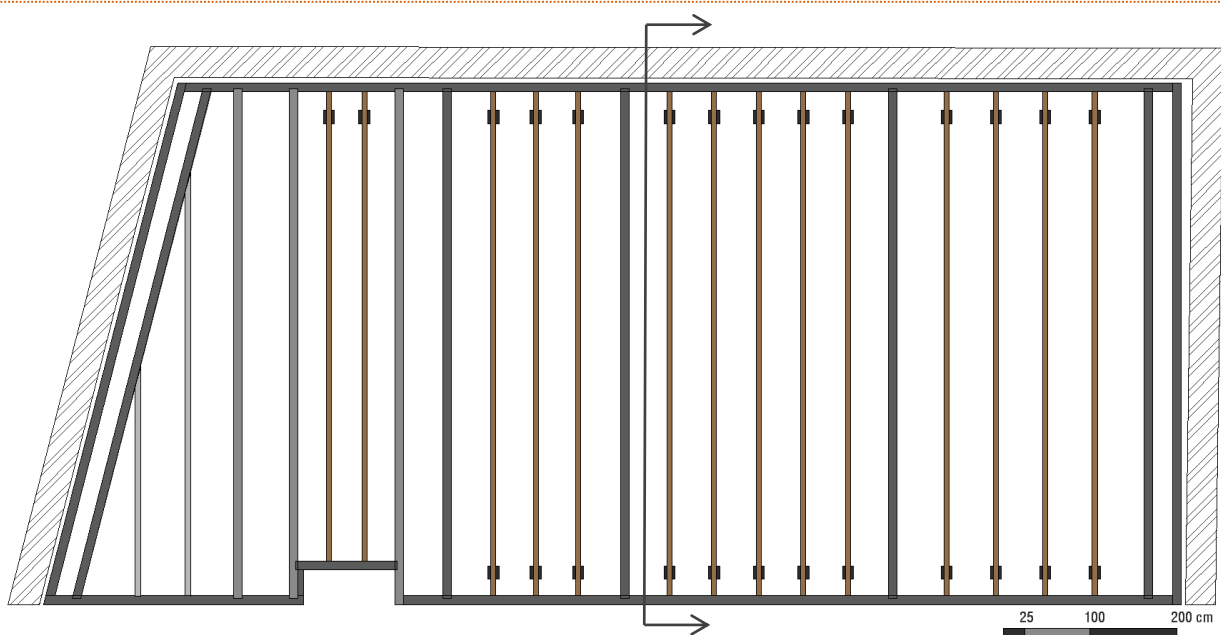


Figure 57 – Plan & coupe détail des pilastres et des fondations, mesures en [cm] (Source : Bureau Modelmo, 2010)

Parallèlement aux poutres métalliques, des poutres en bois lamellé collé, GL24h 100X400 mm, sont posées (Figure 58). Elles se trouvent sur le pourtour du bâtiment et trois à l'intérieur de celui-ci ; le tout permet de rigidifier la structure du plancher. Toujours dans ce but précis, trois poutres GL24h 120X400 mm et deux GL24h 62X400 mm sont placées aux endroits les plus critiques (chargés) du plancher, à savoir de part et

d'autre du retrait de la façade et au niveau de l'angle non rectangulaire. Les autres éléments portants ne sont pas des poutres rectangulaires en lamellé collé mais des poutres en I, Steico-joist (600X400 mm). L'avantage de ces éléments est la réduction au maximum des ponts thermiques car l'âme présente une épaisseur très faible (8 mm). Elles sont posées sur des potelets dont leur rôle est de transférer les charges verticales. Par contre, l'inconvénient causé par cette faible épaisseur est le manque de rigidité de l'élément, ce qui explique la présence d'un minimum de poutres rectangulaires dans le but de contrecarrer ce manque. L'ensemble de la structure constitue le sol portant de la 'nouvelle' maison et donc le plafond de la cave. L'épaisseur choisie (40 cm) ne provient pas d'une question structurelle car il aurait pu se limiter à une plus faible épaisseur mais il s'agit d'une question de remplissage d'isolation. En effet, la maison étant mal orientée, elle dispose de peu d'apports solaires. C'est pourquoi nous rencontrons une épaisseur importante d'isolant naturel (en cellulose) pour compenser ces apports gratuits.









	Maçonnerie existante		Potelet C22 90X90 mm		Porteuse GL24h 100X400 mm
	Porteuse GL24h 120X400 mm		Steico-joist 60X400 mm		Porteuse GL24h 62X400 mm

Figure 58 – Plan & coupe détail de la structure du plancher, 1<sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010)

La démolition de toutes les parois intérieures (à l'exception de celles du rez-de-chaussée) et de la façade avant à partir du 1<sup>er</sup> étage a permis d'isoler entièrement les façades par l'ajout d'une ossature en bois qui double la structure du mur extérieur comme le montre le plan détail :

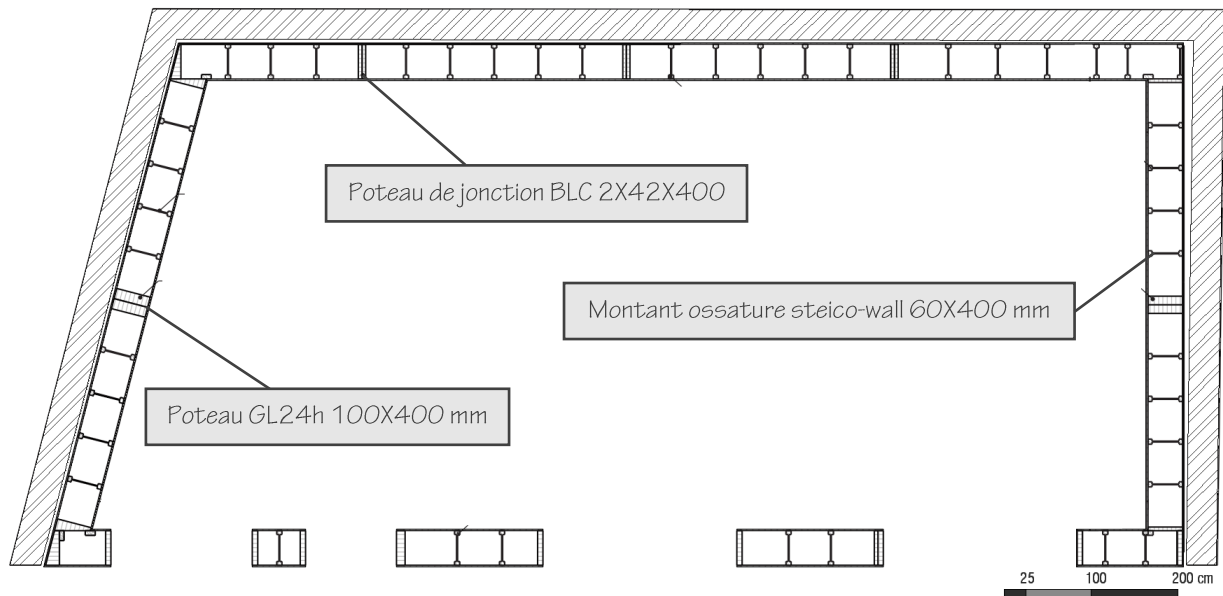


Figure 59 – Plan détail de la structure du mur, 1<sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010)

Le plancher du 2<sup>e</sup> étage pose sur cette ossature ci-dessus. La structure du plancher est différente de celle du 1<sup>er</sup> (Figure 60) ; elle est formée d'un caisson constitué d'une muralière GL24h 100 (ou 42) X400 mm et de trois planches en OSB, le tout rempli d'isolant. Les façades désolidarisées en maçonnerie existante sont accrochées ponctuellement par des ferrures (cornières) de liaison LPN 150x100x10 fixées par chevilles  $\varnothing 16$  chimiques au caisson afin de garantir sa stabilité. Ces ferrures engendrent donc les seuls ponts thermiques du bâtiment, qui sont toutefois limités. La structure primaire du plancher, formée de poutres GL24h 120x400 mm doublées à trois endroits, vient également s'accrocher au caisson via un système de ferrures mécanosoudées. Des solives C22 72X194 et 120X194 mm sont ensuite ancrées dans les poutres principales pour constituer le plancher. Au centre des doubles poutres, en plus des murs extérieurs, des poteaux reprennent les charges de la charpente.

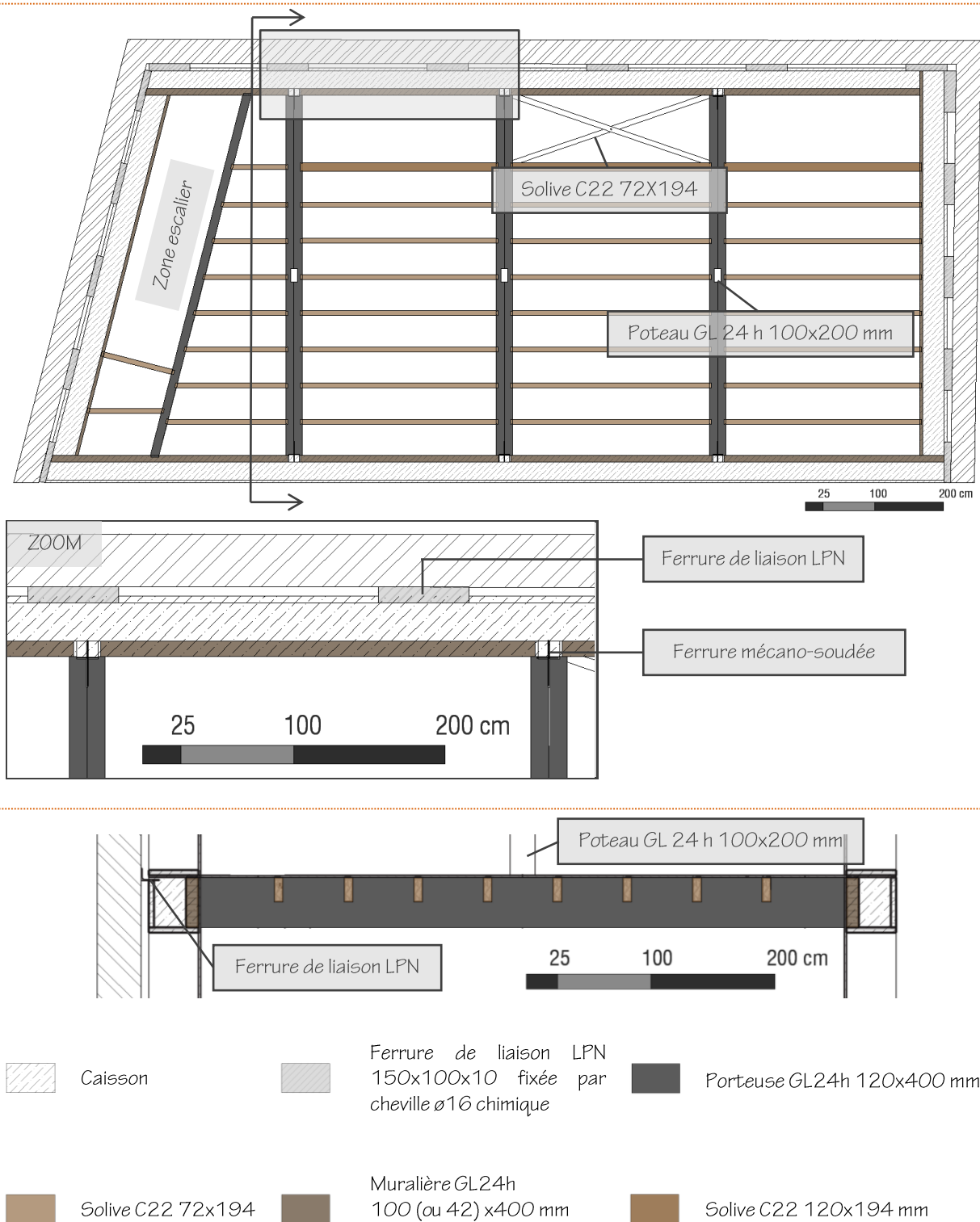


Figure 60 – Plan & coupe détail de la structure du plancher, 2<sup>e</sup> étage (Figure réalisée par l'auteur depuis la source : Bureau Modelmo, 2010)

Le système d'ossature du 2<sup>e</sup> étage est identique à celui du premier étage (Figure 61). Seule la disposition de certains poteaux et montants diffèrent. De plus, les trois colonnes centrales du plancher se prolongent jusqu'à la charpente.

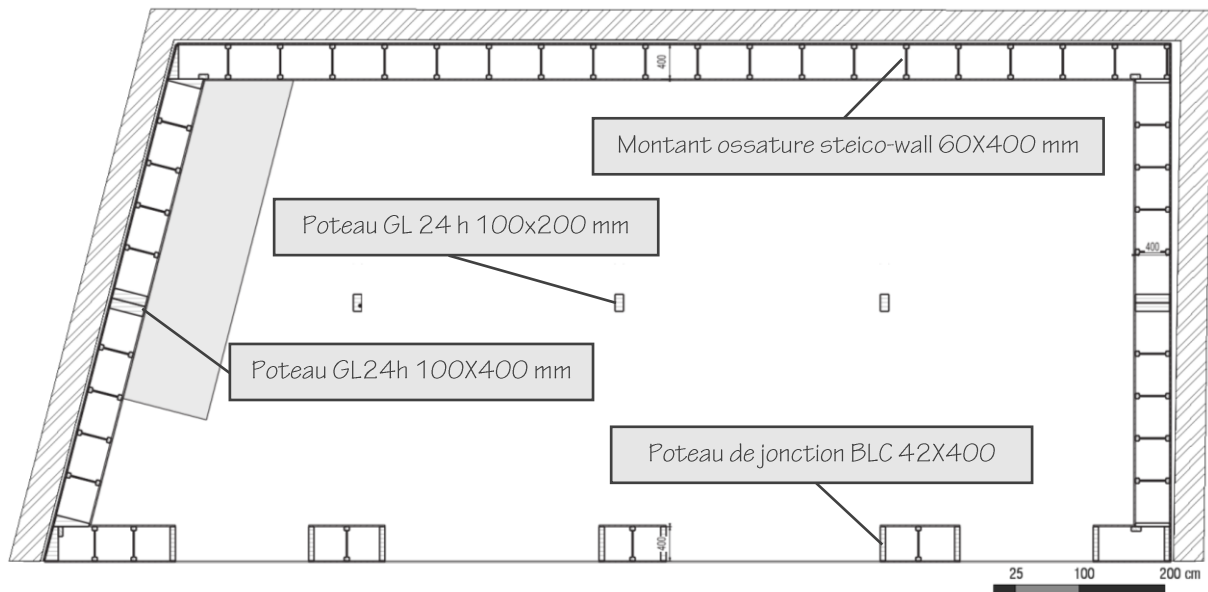


Figure 61 – Plan détail de la structure du mur, 2<sup>e</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010)

Pour ce qui est de la toiture, elle a été légèrement relevée par rapport à la maçonnerie existante de manière à garantir la continuité de l'isolant entre les façades et le toit. Les chevrons transmettent les charges à la poutre faîtière et à la nouvelle structure verticale des murs NE et SO (c'est-à-dire ceux situés en haut et en bas de l'illustration ci-dessous). La panne ensuite, les transmet à la nouvelle structure verticale (murs NO et SE) et aux poteaux qui eux, sont repris par les poutres porteuses GL24h. Ces dernières, fixées à la structure verticale, lui transmettent les charges. (Figure 62)

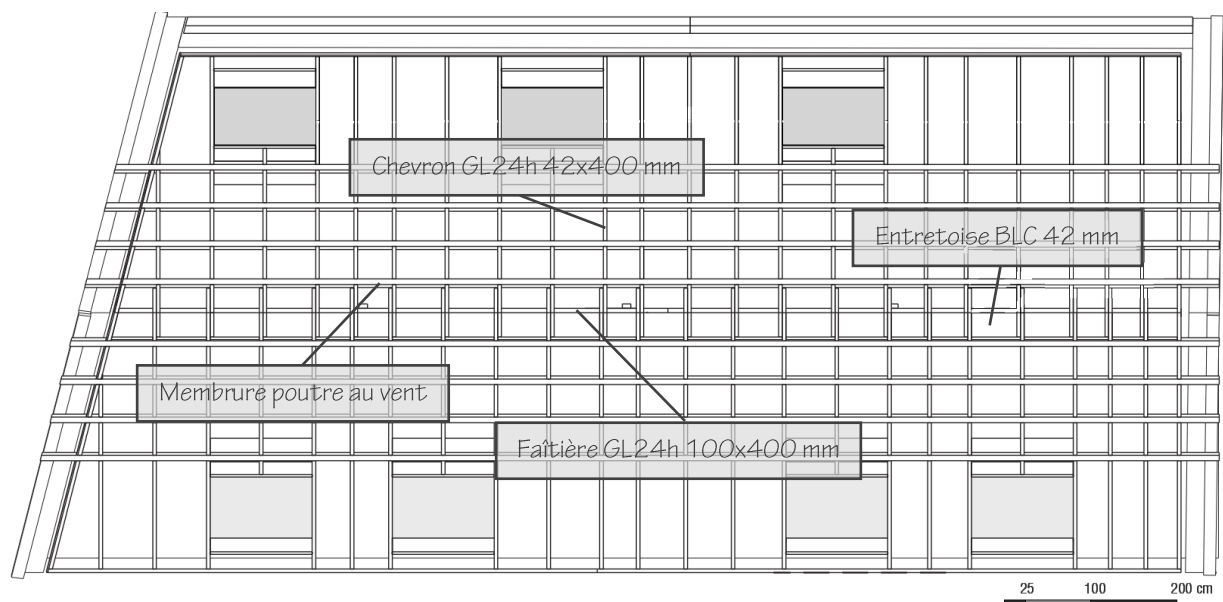


Figure 62 – Plan détail de la structure de la toiture (Source : Bureau Modelmo, 2010)

En ce qui concerne l'étanchéité à l'air, le débit d'infiltration n50 est inférieur à 0,6 vol/heure. Une telle valeur a pu être obtenue grâce à une conception étudiée en profondeur et une exécution minutieuse des travaux.

## 4.5 DESCENTES DE CHARGES

La descente de charges est calculée uniquement pour la situation après rénovation car l'intérieur du bâtiment a été démoli. Elle est principalement centrée sur le mur encadré sur la figure ci-dessous et plus particulièrement sur les charges ponctuelles arrivant sur les colonnes du rez-de-chaussée (cave). Ces dernières et le mur opposé reprennent la majorité des charges de toiture et de planchers. C'est pourquoi nous pouvons observer des valeurs élevées au sommet de trois des quatre colonnes car elles correspondent aux points d'appui du plancher du 2<sup>ème</sup> étage. Elles ont été mises en œuvre dans le but de ne pas s'ancrer dans le mur mitoyen dont la résistance n'est pas connue ; il n'a probablement jamais été sollicité de la sorte. De plus, cette technique permet d'isoler par l'intérieur en évitant les ponts thermiques au niveau des ancrages. Par contre, le mur opposé pose directement sur le mur existant de la cave. Malgré que les charges soient uniformément réparties et non ponctuelles, il est nécessaire de vérifier la résistance de ce mur en maçonnerie. Toutefois, il est envisageable qu'il soit suffisamment résistant car avant la rénovation, il transférait aux fondations des charges plus importantes étant donné que l'entièreté du mur était en maçonnerie pleine. Le détail des calculs se trouve dans l'annexe C.

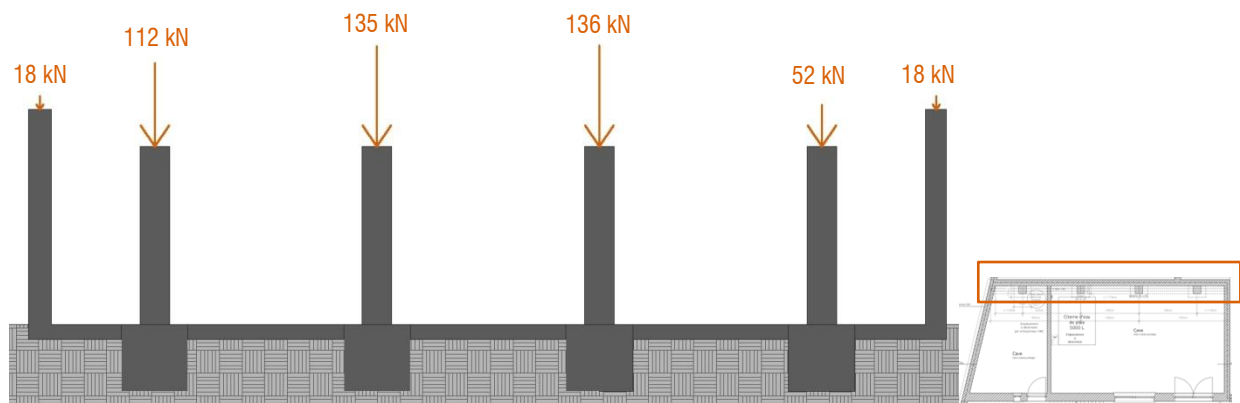


Figure 63 - Charges ponctuelles sur les colonnes de la cave

## 5 LOGEMENT COLLECTIF SEMI-MITOYEN | ETTERBEEK

### 5.1 FICHE D'IDENTITÉ



Photo 36 – Façade côté rue de la maison mitoyenne

**PROGRAMME :** Appartement  
**RÉNOVATION :** Rénovation d'un bâtiment de logement collectif.  
**IMPLANTATION :** Rue Gérard 15, 1040 Etterbeek  
**SURFACE DU BÂTIMENT :** 710 m<sup>2</sup>

**MAÎTRES D'OUVRAGE :** E. Draps  
**ARCHITECTE :** E. Draps  
**BUREAU DE STABILITÉ :** Enesta

**CONCEPTION :** 2007-2008  
 Participation au concours "Bâtiments Exemplaires 2008"  
**CHANTIER :** Décembre 2009 à octobre 2012

**COÛTS PRÉVUS DE CONSTRUCTION HTVA, HORS PRIMES :** 960 €/m<sup>2</sup>

### 5.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

Les informations ci-dessous sont obtenues depuis différentes sources telles que l'«*info fiches-Bâtiments Exemplaires 2008*» de l'IBGE [IBGE, 2007], l'interview de Monsieur Draps et deux documents fournis par ce dernier.

#### GÉNÉRAL

La maison, datant de 1920 environ, a subi une première transformation importante vers 1950 en un immeuble de rapport, avec notamment l'adjonction d'un ascenseur pour quatre logements. En 2006, un permis d'urbanisme est déposé pour une rénovation profonde mais non « durable ». Cette rénovation lourde consiste en une augmentation de surface et de volume dans le but de créer cinq logements totalisant 710 m<sup>2</sup> bruts. Ce n'est qu'après l'obtention du permis en 2007 que le Maître de l'ouvrage a pu être convaincu de l'opportunité de s'orienter vers la rénovation durable en s'inscrivant au concours « Bâtiments Exemplaires » 2008, et ce malgré un surcoût de près de 20% du montant des travaux.

#### AMÉLIORATION DU CONFORT

Les quatre appartements superposés sont dimensionnés « passifs » (à 15 kWh/m<sup>2</sup>/an et étanchéité de 0,6 h<sup>-1</sup>). Par contre, le cinquième situé dans l'annexe latérale droite est « basse énergie » (à 30 kWh/m<sup>2</sup>/an) en raison du nombre pénalisant de faces externes mitoyennes.



Les « plus » en termes de confort pour les futurs occupants sont :

- Chaque appartement dispose d'une terrasse ou d'un jardin.
- La qualité des espaces et de la distribution : la disposition des séjours est inversée, donnant vers le jardin sud-ouest avec des baies de fenêtres agrandies pour augmenter les gains solaires, tout en veillant à la non-surchauffe. Les pièces de repos sont au nord-est avec des ouvertures plus modérées. Cette disposition joue positivement sur le confort thermique, confort amélioré par une isolation performante des parois de l'enveloppe.
- Les installations techniques telles que le chauffage, l'électricité, les sanitaires et l'ascenseur sont renouvelées. Par ailleurs, la consommation énergétique attendue est divisée par 10 par rapport aux 11.500 litres de mazout consommés annuellement par l'immeuble (hors eau chaude sanitaire) avant la rénovation.

### 5.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ

Le bâtiment étudié situé à Etterbeek est mitoyen d'un seul côté. La partie avant est une toiture à double pente contrairement à l'arrière (Figure 64). Celle-ci présente sept niveaux maximums dont un enterré, la cave. Le jardin est en contre-bas par rapport au bâtiment d'où la présence d'escalier dans ce dernier.

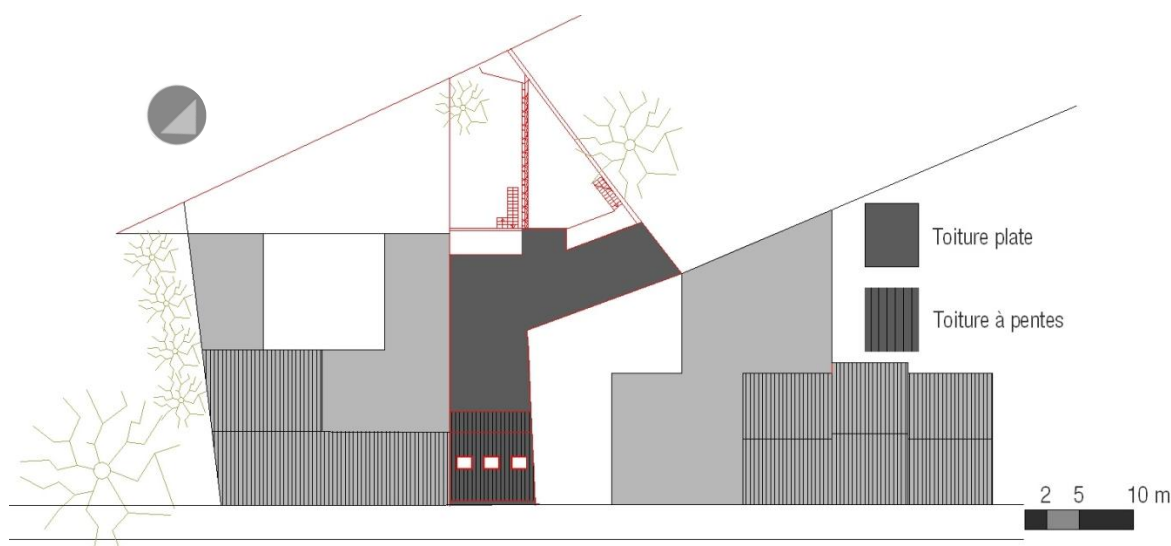


Figure 64 – Implantation (Source : Draps E., 2010)

#### FONCTIONS

Le sous-sol comprend une petite cave au-dessus de laquelle se trouvent notamment la cage d'escalier principale du bâtiment, l'ascenseur, un garage et un local destiné aux vélos. Deux des cinq appartements se développent en partie sur deux niveaux, le rez-de-chaussée et l'étage. Les trois niveaux suivants comportent un logement par niveau tandis que le dernier appartement occupe les deux derniers étages.

#### PLANS ET COUPE

Les figures ci-dessous illustrent les différents plans du bâtiment ainsi qu'une coupe. La façade avant côté rue et le mur mitoyen ont une longueur respective de 6,3 m et 18,33 m.



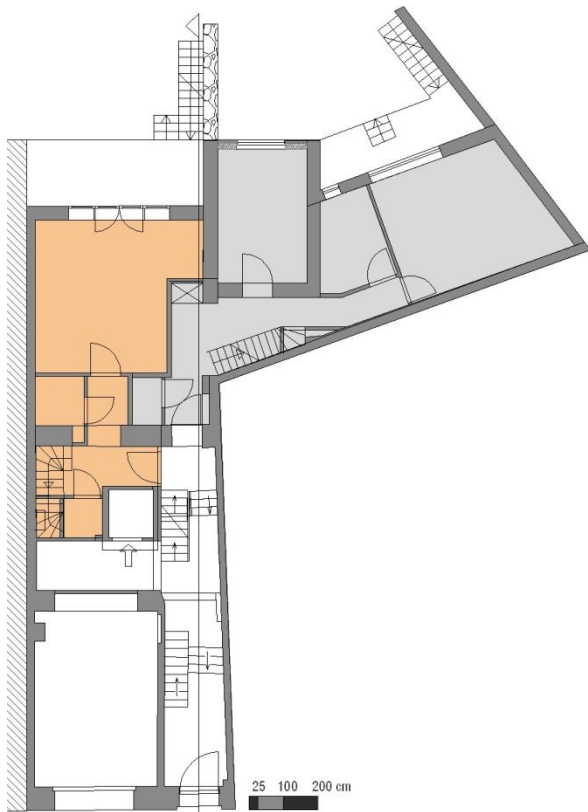


Figure 65 - Plan du rez-de-chaussée (Source : Draps E., 2010)

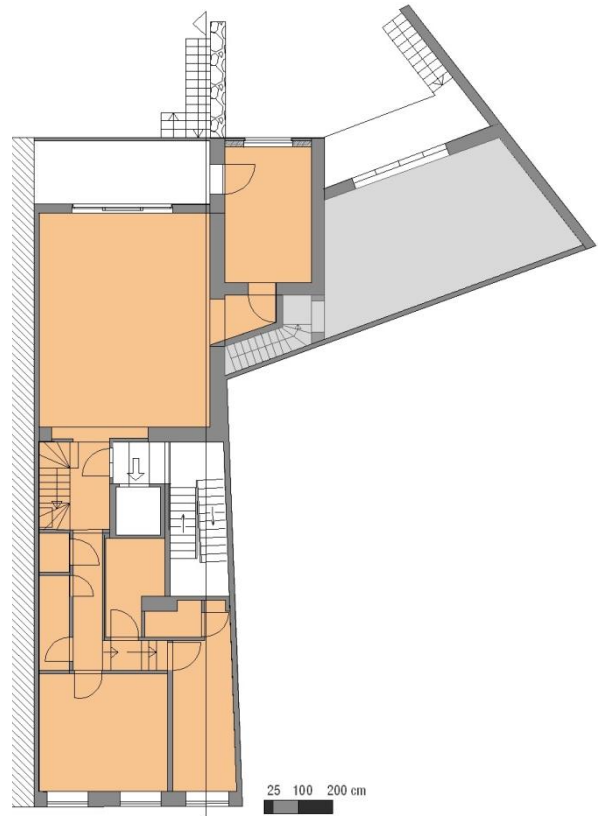


Figure 66 - Plan du 1<sup>er</sup> étage (Source : Draps E., 2010)

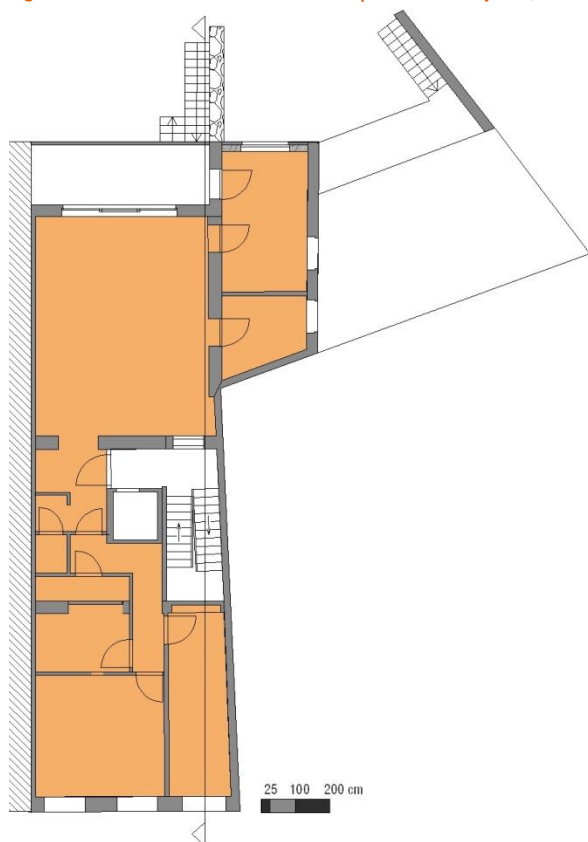


Figure 67 - Plan des 2<sup>e</sup> et 3<sup>e</sup> étages (Source : Draps E., 2010)

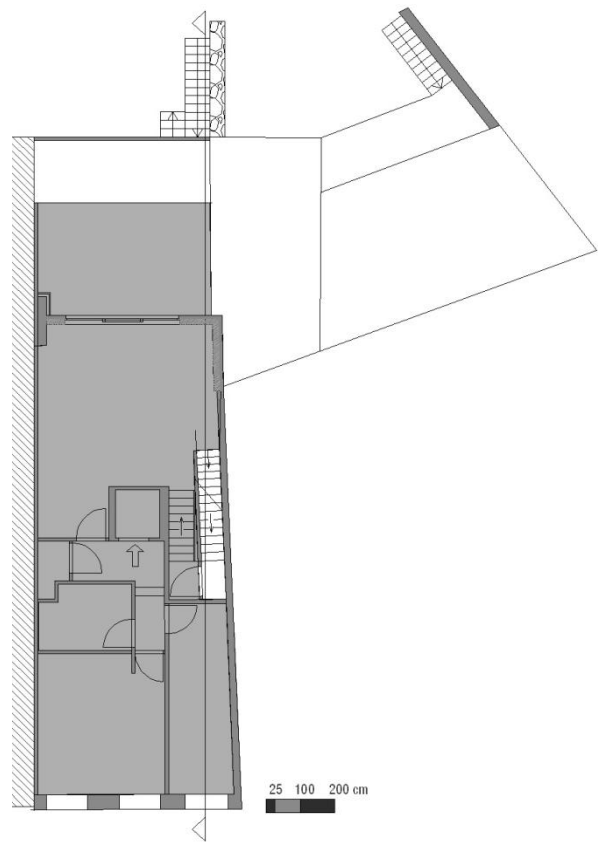


Figure 68 - Plan du 4<sup>e</sup> étage (Source : Draps E., 2010)

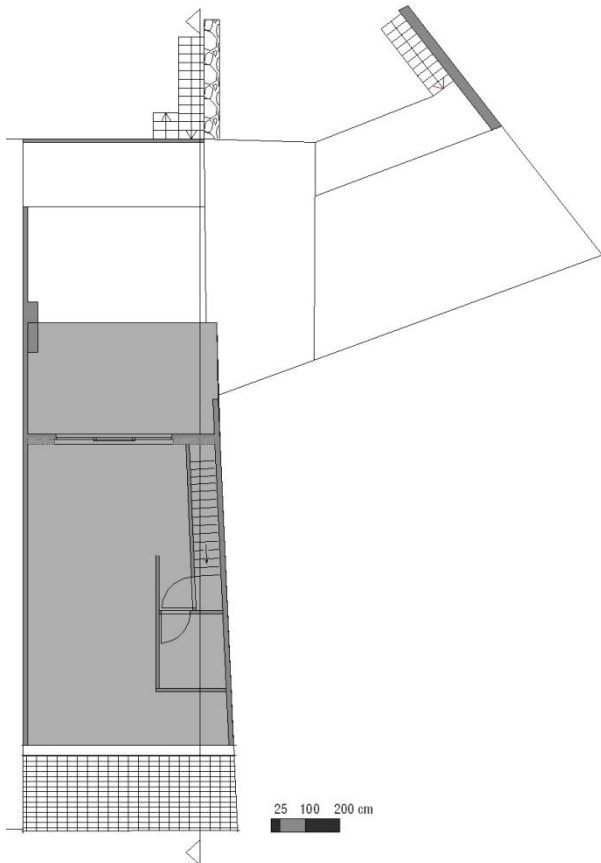


Figure 69 - Plan du 5° étage (Source : Draps E., 2010)

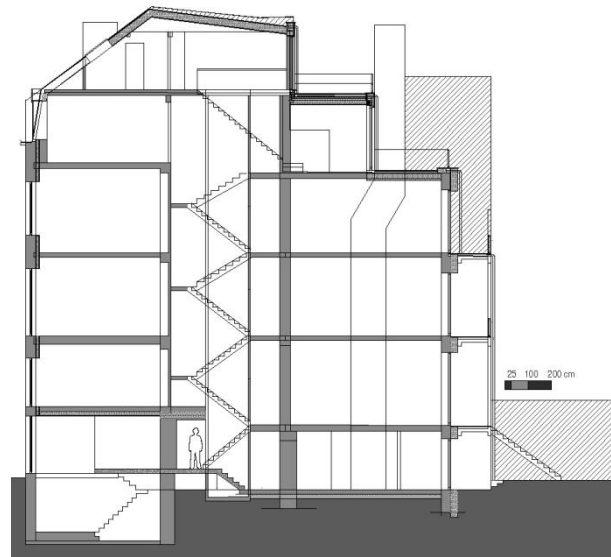


Figure 70 – Coupe (Source : Draps E., 2010)

## 5.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE

L'interview de l'architecte Edouard Draps ainsi que les documents fournis par ce dernier m'ont permis de réaliser l'analyse suivante.

### ■ DESCRIPTION AVANT RÉNOVATION

L'ensemble des parois verticales du bâtiment existant est composé de murs pleins en maçonnerie non isolés. L'épaisseur des murs de façade et des murs porteurs intérieurs varie entre 40 et 70 cm. La structure des planchers est composée de gîtes de dimensions 6/18 cm portant de la façade avant jusqu'aux murs porteurs centraux et de ces murs jusqu'à la façade côté jardin. Le sens de portée du gîtage est illustré par les flèches rouges sur la Figure 71. Les pannes, quant à elles, sont ancrées dans les mitoyens ; elles ne reposent donc pas sur les murs porteurs intérieurs. La Figure 72, indique en rouge la trace de la coupe existante avant la rénovation.

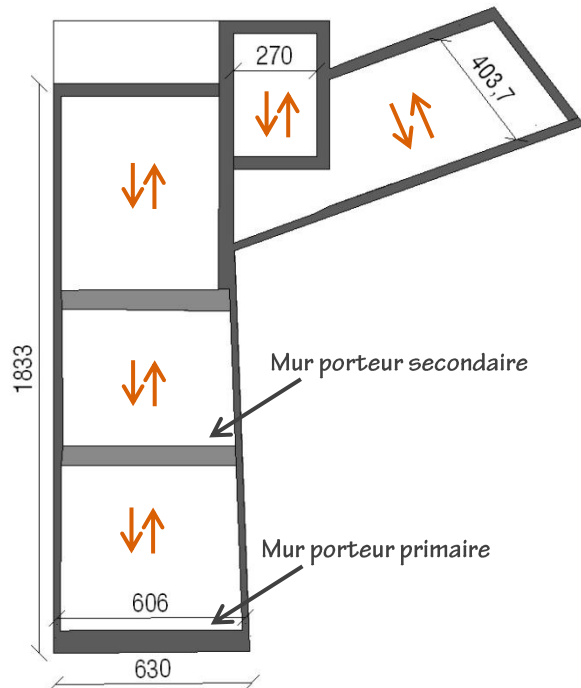


Figure 71 - Schéma du système porteur du bâtiment

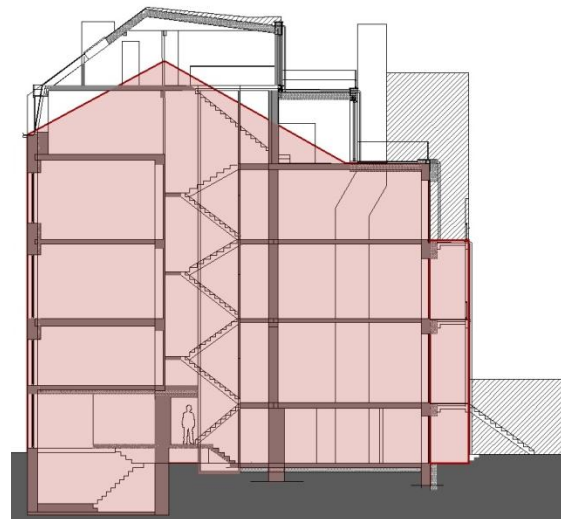


Figure 72 - Trace schématique de la coupe

#### ■ DESCRIPTION APRÈS RÉNOVATION

L'analyse ci-dessous décrit les phases importantes rencontrées lors de la rénovation du bâtiment initialement énergivore en un bâtiment passif et plus précisément celles induisant une modification de la structure existante. Ces phases sont :

- Isolation de la dalle de sol
- Isolation par l'intérieur de la façade avant
- Isolation par l'extérieur de la façade arrière et de la façade latérale
- Extension verticale du bâtiment principal

Il faut noter que l'isolation continue des façades permet de garantir l'étanchéité à l'air dont le taux de renouvellement est limité dans le cas d'habitation passive. Afin de renforcer cette étanchéité, les plafonnages des murs mitoyens seront remplacés dans leur intégralité. Il est important de spécifier que les murs mitoyens ne sont pas isolés car les habitations voisines sont occupées et chauffées.

#### ISOLATION DE LA DALLE DE SOL

La dalle de sol existante est détruite afin de l'isoler **Figure 73**. Le volume englobant la cave et le garage ne fait pas partie du volume chauffé (en bleu sur le schéma ci-dessous). Ainsi, le plancher isolé au-dessus de ce volume correspond à celui du 1<sup>er</sup> étage. Un pont thermique est observé entre la dalle et le mur vertical. Il est plus faible par rapport à celui obtenu si la terre et le prolongement de l'isolant dans le sol n'étaient pas présents.

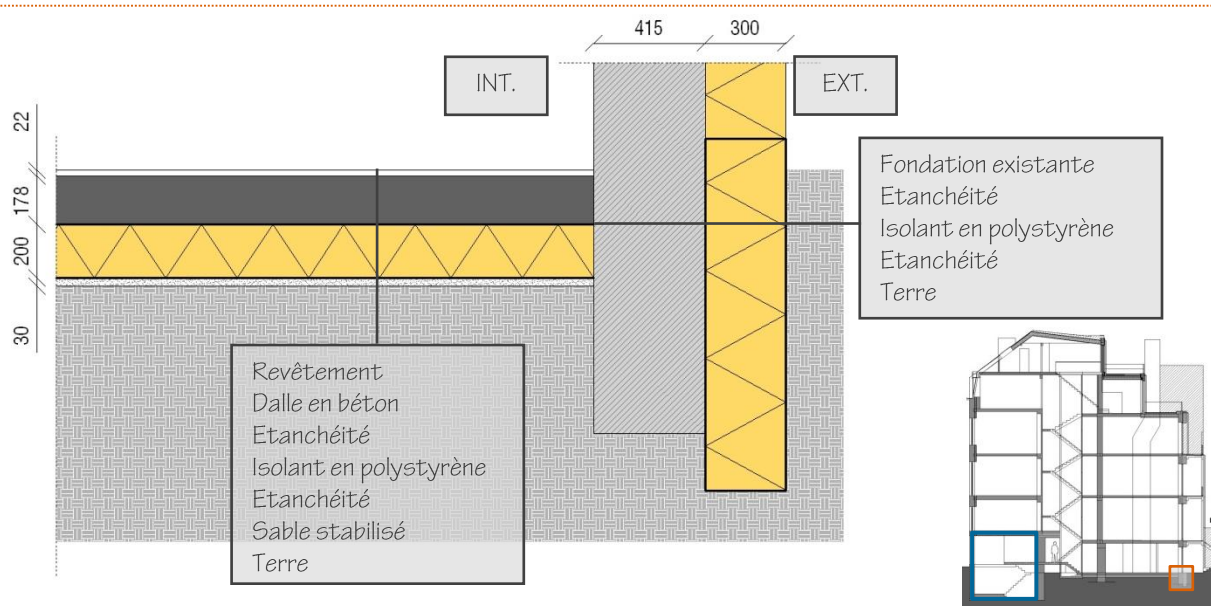


Figure 73- Détail de l'isolation de la dalle de sol, mesures en [mm]

### ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR DE LA FAÇADE AVANT

La façade avant possède une certaine valeur architecturale. Pour la préserver et pour respecter son alignement par rapport aux habitations voisines, son isolation est mise en place par l'intérieur. Cette technique présente des ponts thermiques aux points de contact entre le plancher et la façade. Pour éviter cet inconvénient, la première solution envisagée était de couper les têtes de gîtes afin de désolidariser la façade. Le plancher est ensuite repris par une cornière métallique fixée à une gîte de dimensions 8/23 portant sur les mitoyens. L'isolation et l'étanchéité à l'air sont assurées de façon continue.

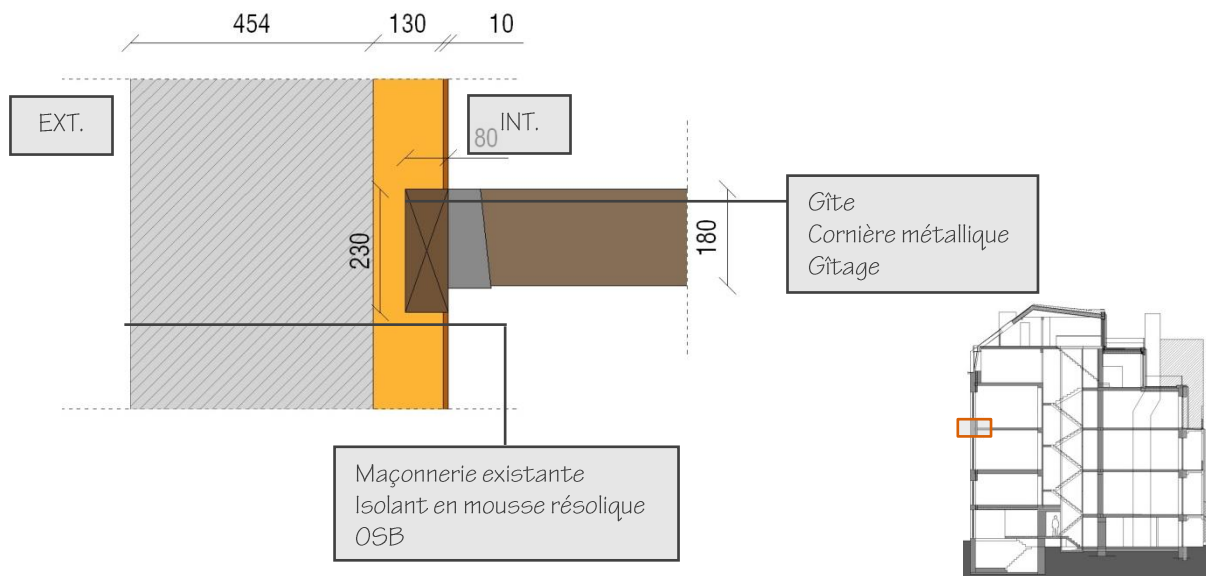


Figure 74 - Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant au droit du plancher, mesures en [mm]

Toutefois, cette option est écartée car il s'avère que la structure des planchers est en mauvais état et présente une flèche importante. Le plancher est donc enlevé et remplacé par un plancher semi-préfabriqué. Il s'agit d'un système de poutrains en béton et d'entrevous en fibres de bois. Ensuite, des armatures sont placées et le béton est coulé afin de rendre l'ensemble monolithique. Cette technique présente plusieurs avantages [IBGE, 2007] :

- Mise en œuvre facilitée : la manutention est réduite et le coffrage léger.
- L'impact environnemental : il est réduit par rapport à un système en béton uniquement (hourdis).
- Forme du creux : il permet le passage des techniques et réduit la hauteur du faux plafond contrairement aux hourdis.
- Pose manuelle rapide
- Entrevous facile à découper

Ce système est préféré à un autre tout en béton (hourdis) car le poids est moindre et permet ainsi d'être le plus proche possible du poids propre du plancher existant avant les travaux de rénovation.

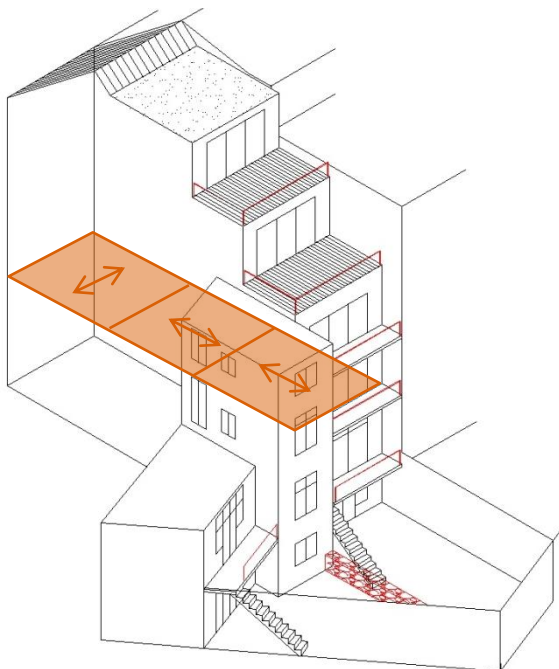


Figure 75 - Sens de portée du plancher (Source : Draps E., 2010)



Photo 37 – Système poutrains/entrevous

La volumétrie montre le sens de portée du nouveau plancher (Figure 75). Entre la façade côté rue et le premier mur porteur intérieur, le sens est modifié dans le but de répartir les charges sur les différentes fondations. Il est ancré dans le mur mitoyen et le mur pignon et est parallèle à la façade. Un vide est alors laissé pour le passage de l'isolant ainsi que pour éviter de couper les planchers mis en place depuis peu. Notons que la portée est plus importante dans ce sens (6m30 au lieu de 5m40) ; il faut dès lors doubler le système c'est-à-dire placer deux poutrains côte à côte entre deux entrevous (Photo 37). (Figure 76)



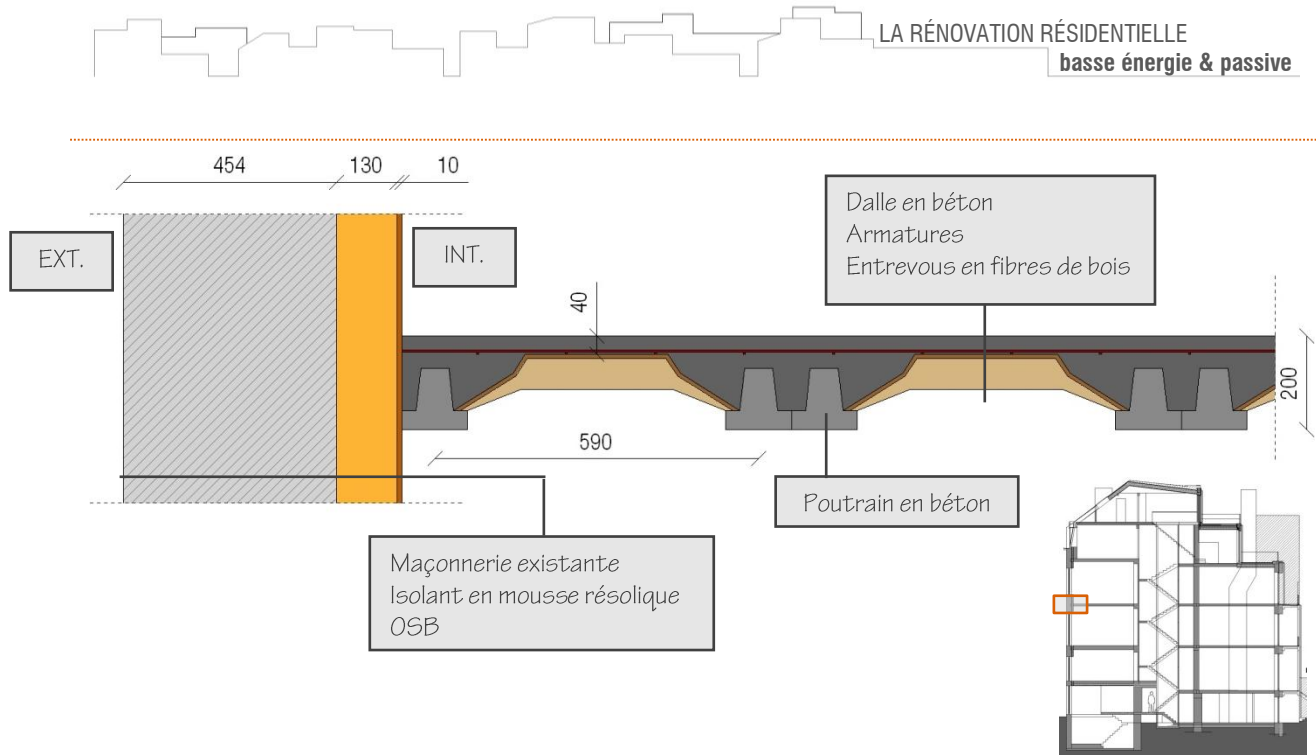


Figure 76 - Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant au droit du plancher, mesures en [mm]

Désolidarisée des planchers, la façade avant doit être stabilisée au moyen d'ancrage. A cet effet, des tiges sont fixées chimiquement dans la maçonnerie existante et dans la dalle en béton coulée du plancher (Photo 38).



Photo 38 – Ancrage de la façade dans le plancher semi-préfabriqué

### ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR DE LA FAÇADE ARRIÈRE ET DE LA FAÇADE LATÉRALE

Le même principe est utilisé pour la façade arrière (Figure 77). En effet, les nouveaux balcons sont désolidarisés du mur pour assurer la continuité de l'isolation extérieure. La structure du balcon est semblable aux planchers sauf que l'ensemble est en béton (Figure 78). Elle est donc constituée de poutrains et d'entrevous en béton. Les poutrains portent entre deux murs mitoyens (Photo 39).

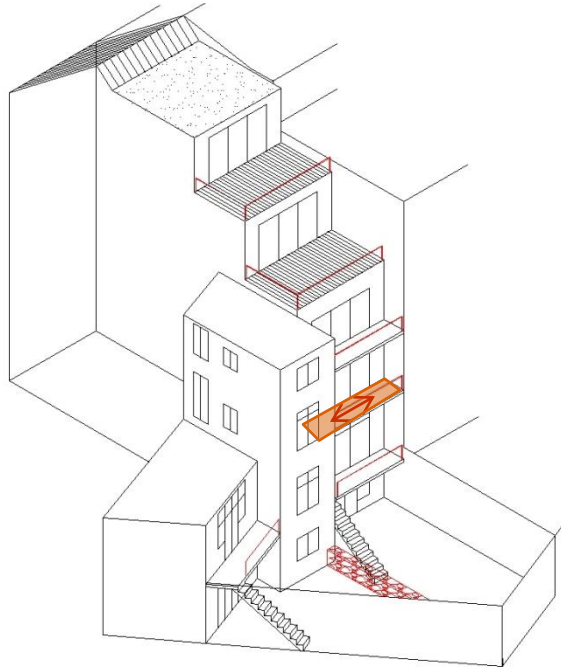


Figure 77 - Sens de portée du balcon (Source : Draps E., 2010)



Photo 39 – Système poutrains/entrevous

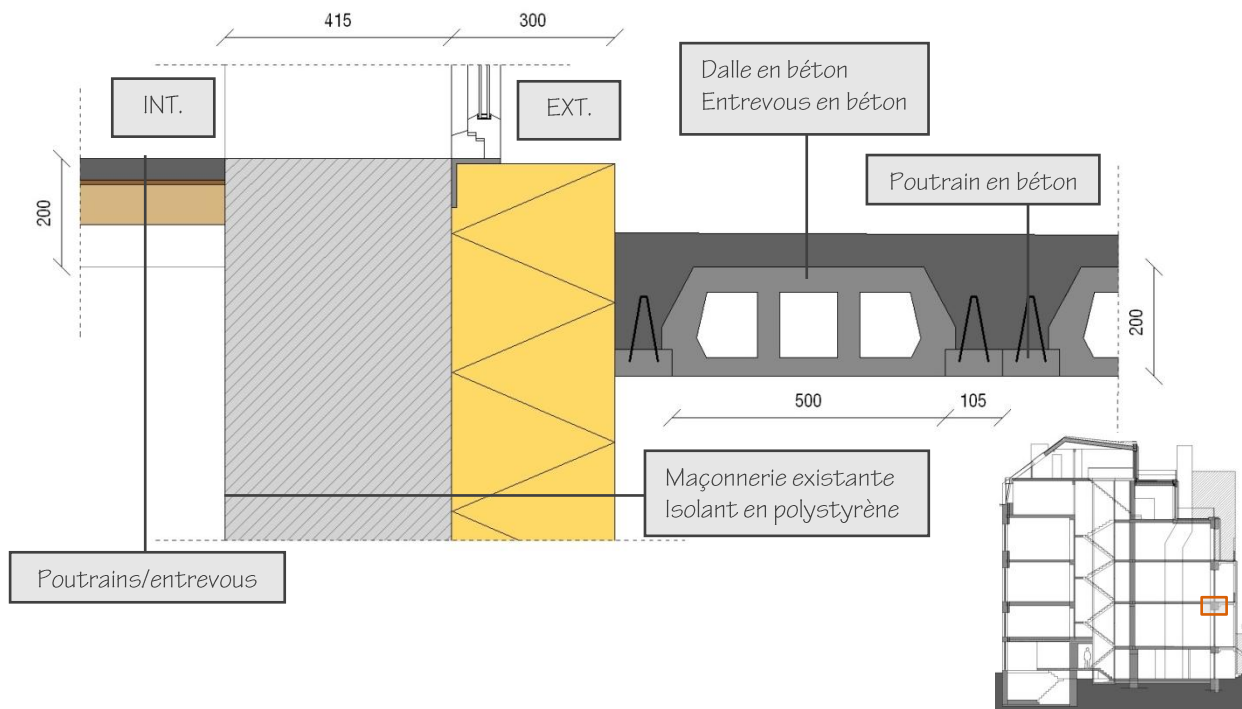


Figure 78 - Détail de l'isolation par l'extérieur de la façade arrière, mesures en [mm]



Le châssis est intégré dans l'isolant pour éviter d'effectuer des retours d'isolant si celui-ci avait été placé sur la maçonnerie existante. Il est alors porté par des cornières situées au-dessus et en-dessous ainsi que par des ancrages métalliques le maintenant à la maçonnerie. (Photo 40 et Photo 41)



Photo 40 - Cornière inférieure et ancrage métallique du châssis



Photo 41 – Cornière supérieure du châssis

La façade latérale a la même composition sauf vers le bas du mur où l'épaisseur d'isolant n'est plus de 30 cm mais de 10 cm. Pour assurer sa continuité entre le mur vertical et la toiture, deux poutres FJI sont placées parallèlement au mur pignon. L'isolant sera inclus entre les deux éléments. (Photo 42)



Photo 42 - Mise en place des deux poutres FJI

#### EXTENSION VERTICALE DU BÂTIMENT PRINCIPAL

Cette section n'est pas une exigence pour atteindre le standard passif mais elle fait partie des principes de base, à savoir s'adapter aux besoins actuels. L'extension est réalisée en brique monomur et la toiture est rehaussée. Sa structure est identique à celles des autres toitures à l'exception des toitures plates. En effet, le recouvrement n'est pas composé de tuiles mais d'une couverture bitumineuse et d'une étanchéité EDPM.

Les poutres FJI 360 mm jouent le rôle de chevrons pour la pente côté rue de la toiture principale<sup>30</sup> (Figure 79) et pour les autres, le rôle de pannes et chevrons combinés. Les pannes sont emballées avec une

<sup>30</sup> Elles sont fixées à des poutres en bois ancrées dans le mur mitoyen et le mur pignon.

membrane freine-vapeur Intello (Photo 43). La Figure 80 illustre, en rouge, le sens de portée des poutres FJI en toiture (Photo 43) et en gris, celui d'un gîtage conservé lors de la rénovation. L'ensemble des toitures en FJI est donc reprise par le mur mitoyen et le mur pignon.

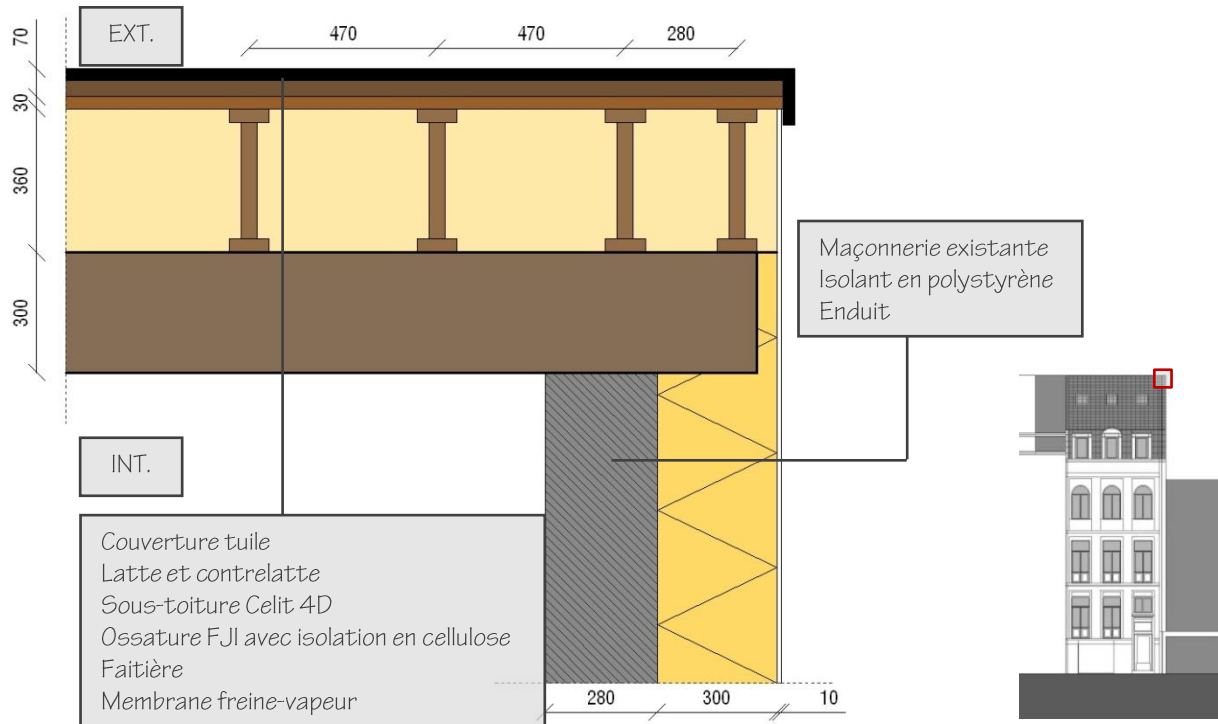


Figure 79 - Détail de l'isolation de la toiture et de la façade latérale, mesures en [mm]

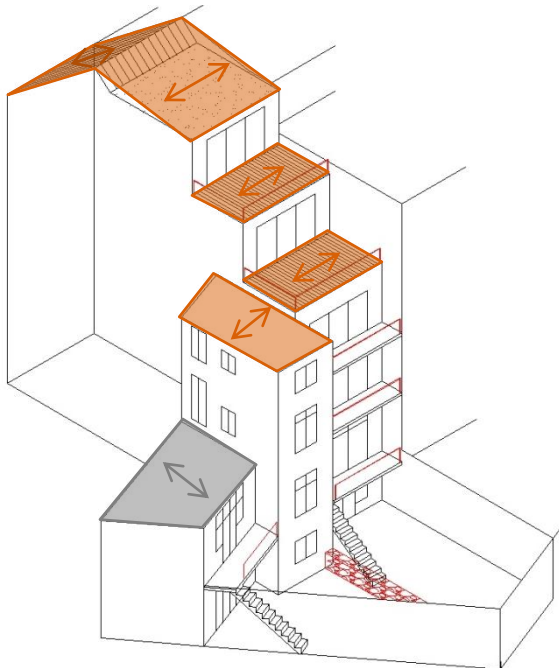


Figure 80 - Sens de portée des poutres FJI et des gîtes en toiture (Source : Draps E., 2010)



Photo 43 – Poutres FJI d'une toiture plate

## 5.5 DESCENTES DE CHARGES

Les descentes de charge avant et après rénovation ont été calculées. Ainsi, les valeurs des charges linéaires sur les fondations peuvent être comparées. De là, deux résultats montrent l'évolution de ces dernières.

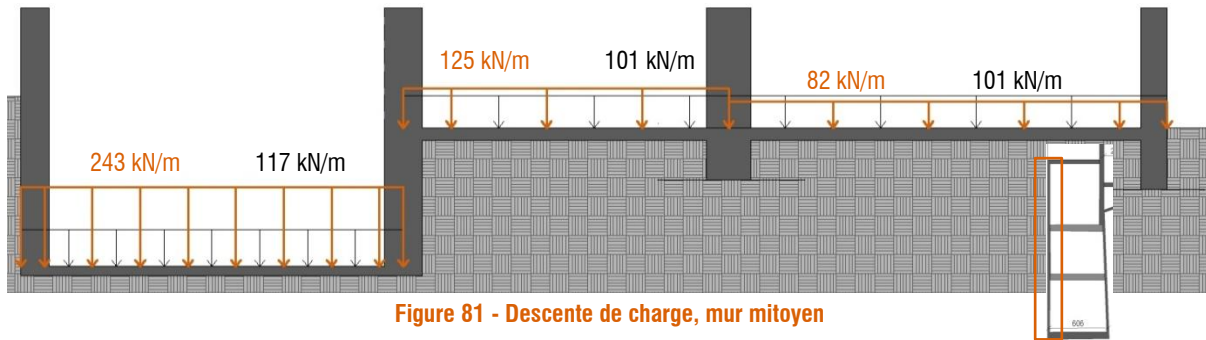


Figure 81 - Descente de charge, mur mitoyen

Une différence importante des charges linéaires est observée le long du mur mitoyen (Figure 81). Elle est due à la modification du sens de portée du plancher afin d'isoler par l'intérieur sans devoir couper ce dernier. Cette solution paraît intéressante mais il faut être prudent. Les poutres/entrevous étant ancrés dans le mur mitoyen, il faut être certain que les maçonneries voisines soient suffisamment résistantes pour supporter des nouvelles charges plus élevées. Par contre, pour le reste du mur, elles ont des valeurs proches avant et après rénovation car seules la toiture (reprise par le mur mitoyen) et la hauteur des murs ont été modifiées.

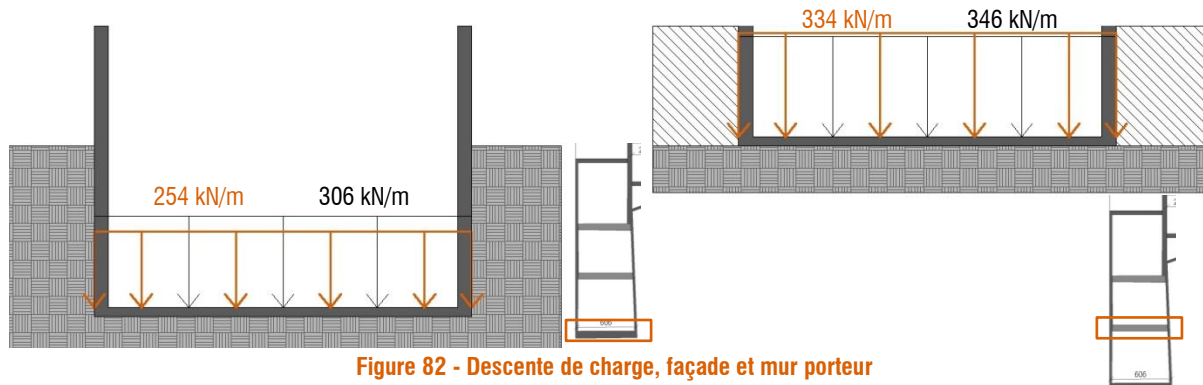


Figure 82 - Descente de charge, façade et mur porteur

Les charges concernant le mur de façade diminuent après les travaux car les nouveaux planchers posent dans l'autre sens (Figure 82). Les murs porteurs, quant à eux, voient leurs charges augmenter légèrement. L'augmentation maximum est d'environ 12 kN. Ce schéma prouve que les poutres/entrevous en béton et en bois sont léger par rapport à un système tout en béton mais pas autant que celui avec des solives. En effet, le mur porteur, Ils constituent tout de même une bonne alternative aux planchers traditionnels constitués de bois uniquement.

Pour un complément d'informations, les descentes de charges, les hypothèses et les calculs sont dans l'annexe D.

## 6 BÂTIMENT EN ZONE PROTÉGÉE | FOREST

### 6.1 FICHE D'IDENTITÉ



Photo 44 – Façade côté rue de la maison mitoyenne  
(Source : Bureau A2M, 2011)

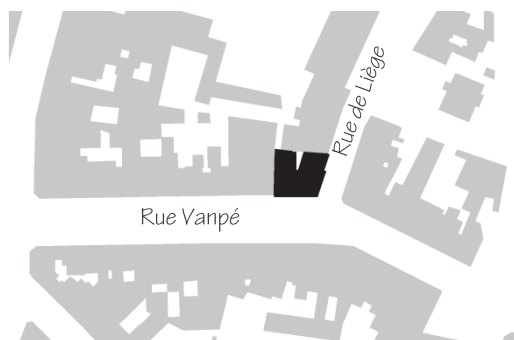


Figure 83 – Implantation du CPAS (Source : Bureau A2M, 2011)

**PROGRAMME :** Bureau du CPAS  
**RÉNOVATION :** Rénovation d'un bâtiment de bureaux implanté dans la zone de protection de l'abbaye de Forest.  
**IMPLANTATION :** Rue Vanpé 50, 1190 Forest  
**SURFACE DU BÂTIMENT :** 1017 m<sup>2</sup>

**MAÎTRES D'OUVRAGE :** CPAS de Forest  
**ARCHITECTE :** Bureau A2M  
**BUREAU D'ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE :** MatriCiel  
**BUREAU DE STABILITÉ :** JZH & Partners

**CONCEPTION :** 2007-2008  
 Participation au concours "Bâtiments Exemplaires 2007"  
**ÉTUDE :** 2009  
**CHANTIER :** Décembre 2009 à septembre 2011

**MONTANT TOTAL DES TRAVAUX DE STABILITÉ HTVA :**  
 235.000 €  
**MONTANT TOTAL DES TRAVAUX HTVA :** 1.500.000 €  
**COÛTS DE CONSTRUCTION HTVA, HORS PRIMES :**  
 1575 €/m<sup>2</sup>  
**COÛTS DE CONSTRUCTION HTVA, INC. PRIMES :**  
 1441 €/m<sup>2</sup>

### 6.2 PRÉSENTATION DU BÂTIMENT ÉTUDIÉ

La présentation du bâtiment est réalisée à partir de différentes sources telles que l'« *info fiches-Bâtiments exemplaires 2007* » [IBGE, 2007], une présentation de Monsieur Moreno-Vacca du bureau d'architecture A2M [Moreno-Vacca S., 2011], des informations provenant du bureau JZH & Partners et de la revue *passive* [Cohen M., 2011].

#### GÉNÉRAL

Le bâtiment construit en 1934, se situe dans une zone de protection de l'abbaye de Forest mais il n'est cependant pas classé. Depuis 2005, il accueille l'ensemble des sections du CPAS qui décident de le rénover car le bâtiment était devenu insalubre. Il ne respectait plus les critères de confort et de sécurité. Le maître d'ouvrage voulait ainsi lui rendre un second souffle tout en alliant deux aspects importants : la conservation de son caractère architectural et la diminution de l'énergie consommée. C'est pourquoi il a décidé de maintenir la façade et l'escalier central et de s'orienter vers les exigences du standard « *très basse énergie* ». De plus, l'objectif du CPAS était, simultanément, de répondre aux nouveaux besoins d'espace et d'usage et de garder le volume existant.



### APPROCHE ÉNERGÉTIQUE

Ce bâtiment fait donc l'objet d'un défi technique dans le but d'atteindre des performances énergétiques élevées à partir d'une situation existante très énergivore. Le besoin net annuel d'énergie en chauffage passe ainsi de 335 kWh/m<sup>2</sup> à 19 kWh/m<sup>2</sup>. En ce qui concerne l'étanchéité à l'air, le taux de renouvellement d'air atteint une valeur inférieure à celle exigée dans les normes passives, à savoir 1,3 V/h. Cette efficacité énergétique est le résultat de diverses techniques :

- Isolation performante et étanchéité à l'air. L'isolation du bâtiment permet de passer d'un niveau d'isolation thermique K 149 à K 22.
- Ventilation mécanique avec récupération de chaleur à haut rendement.
- Maîtrise des charges internes et externes en plaçant des protections solaires extérieures automatiques et des équipements bureautiques tels que des écrans plats, des photocopieurs,... à faible charge interne.
- Toiture verte extensive.
- Refroidissement passif, le night-cooling naturel (Figure 84). Ce dispositif consiste à balayer les locaux par de l'air extérieur plus froid uniquement durant la nuit et ce, pour des raisons de confort acoustique quand le bâtiment est occupé la journée et d'efficacité<sup>31</sup>. L'ouverture des fenêtres est fonction de la différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur et est commandée par la GTC (Gestion des Techniques Centralisées). Une fois sa masse thermique chargée, l'air est extrait par une cheminée.

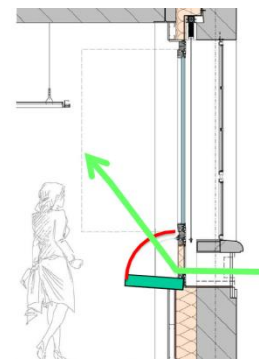


Figure 84 - Night-cooling naturel (Source: Bureau A2M,2011)

Le bâtiment atteint donc le standard très basse énergie.

## 6.3 PROGRAMME FONCTIONNEL ET RELEVÉ DU BÂTIMENT RÉNOVÉ

Le bâtiment étudié abrite un ensemble de bureaux situé à Forest, dans la région de Bruxelles-Capitale. Implanté en coin d'îlot, il comporte quatre niveaux dont un semi-enterré. Un volume rectangulaire est visible sur le toit du 4<sup>e</sup> niveau. Il contient le système de ventilation double flux.

### FONCTIONS

Le sous-sol comprend les archives, des locaux techniques, une cuisine, des sanitaires et une grande salle polyvalente modulable. Une petite cour centrale apporte la lumière nécessaire aux locaux situés à l'arrière du bâtiment. Au rez-de-chaussée se trouvent la zone d'accueil comportant différentes pièces : des bureaux, une salle de réunion et une terrasse végétalisée donnant sur le vide de la petite cour du niveau inférieur. Le premier étage compte également des bureaux et une toiture verte intensive au-dessus de la salle de réunion. Des bureaux sont encore installés sur l'ensemble de la surface du second étage. Un local technique est situé dans le volume rectangulaire sur le toit du 2<sup>e</sup> étage. Il est important de signaler qu'un escalier de secours, des escaliers principaux et des sanitaires sont présents à chaque niveau.

### PLANS ET COUPE

Les figures ci-dessous illustrent les différents plans du bâtiment, une coupe et leur mesure en mètre. Elles nous fournissent notamment son orientation. Les deux murs mitoyens au nord et à l'ouest ont une longueur respective de 20,71 m et 17,43 m. Le cadre rouge sur chaque plan entoure une annexe. Celle-ci est construite sur deux niveaux et n'existait pas avant les travaux de rénovation.

<sup>31</sup> Ce système est moins efficace en journée car sa performance est proportionnelle à la différence de température intérieure et extérieure. Or, celle-ci est plus faible durant la journée.

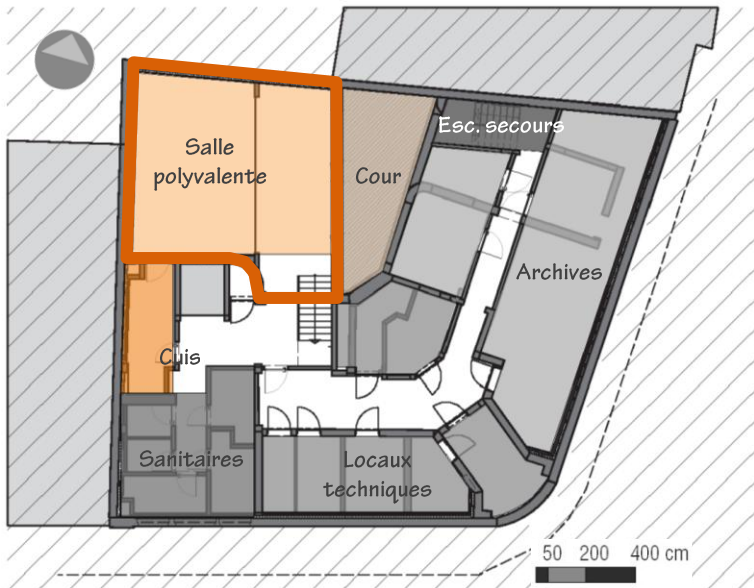


Figure 85 - Plan du sous-sol (Source : Bureau A2M, 2011)

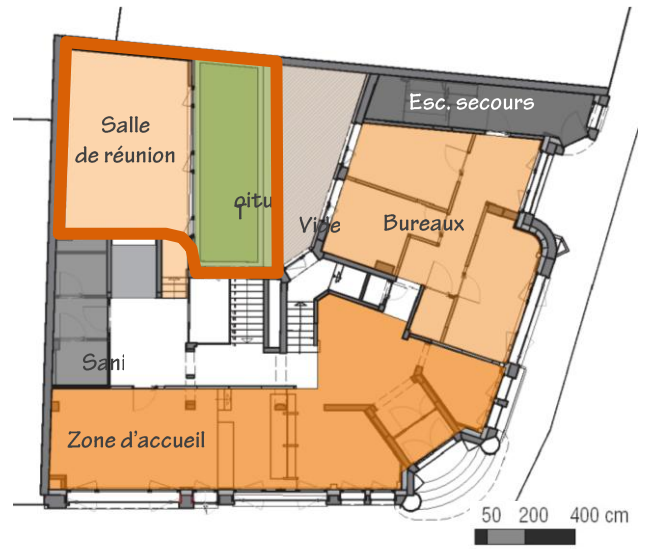


Figure 86 - Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau A2M, 2011)

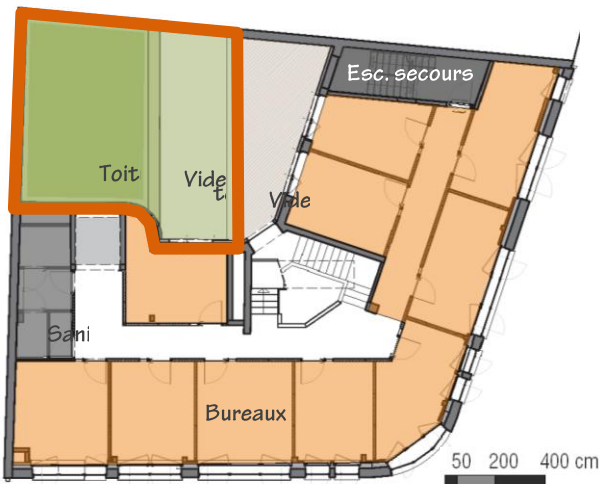


Figure 87 - Plan du 1er étage (Source : Bureau A2M, 2011)



Figure 88 - Plan du 2e étage (Source : Bureau A2M, 2011)

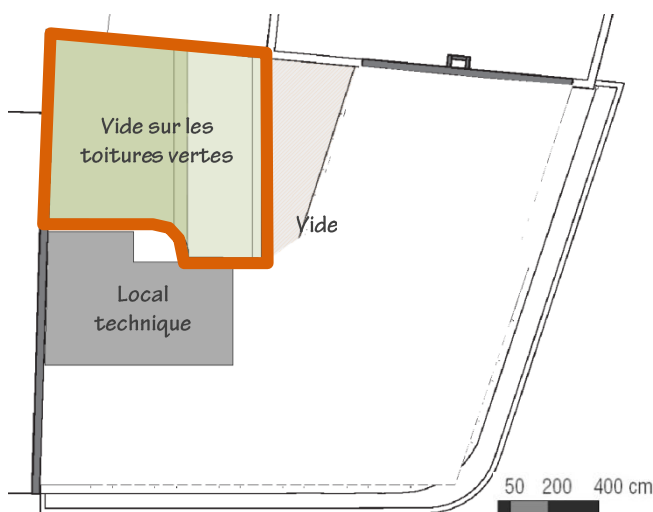


Figure 89 - Plan du local technique et du toit (Source : Bureau A2M, 2011)



Figure 90 - Coupe parallèle à la rue Vanpé (Source : Bureau A2M, 2011)

## 6.4 SYSTÈME CONSTRUCTIF, MATÉRIAUX ET COMPOSANTES DE L'ENVELOPPE

L'analyse suivante est réalisée à partir des informations récoltées auprès de Mme Willem du bureau d'architecture A2M et de M. Meersseman du bureau de stabilité JZH & Partners.

### ■ DESCRIPTION AVANT RÉNOVATION

La structure avant la rénovation est semblable à celle obtenue après les travaux car celle-ci est en partie conservée. Ainsi, la structure existante est illustrée dans les plans de stabilité ci-après. Seule celle de la toiture du 1<sup>er</sup> étage a été modifiée étant donné qu'un niveau est ajouté lors de la rénovation. Sa structure était identique au plancher de cet étage. En effet, le bâtiment existant comportait uniquement trois niveaux : le sous-sol, le rez-de-chaussée et le 1<sup>er</sup> étage. (Figure 45)



Photo 45 - Façade côté rue avant rénovation (Source : bureau A2M, 2011)

### ■ DESCRIPTION APRÈS RÉNOVATION

La description ci-dessous consiste à analyser les différentes étapes de travaux du bâtiment qui permettront d'atteindre les exigences « *basse énergie* » et qui, pour y arriver, font appel à des modifications de la structure existante.

Les grandes étapes sont :

- Isolation par l'intérieur des façades à rue
- Isolation par l'extérieur de la façade arrière

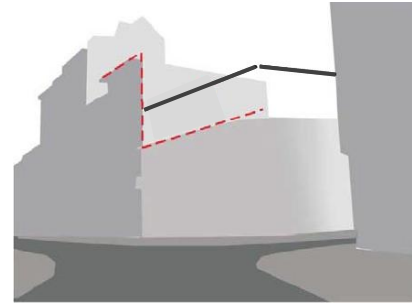
Nous pouvons remarquer qu'une étape généralement importante lors de la rénovation d'un bâtiment mitoyen est l'isolation des murs mitoyens. Ce point-là ne sera pas traité ; en effet, la plupart des murs mitoyens ne sont pas isolés car ils sont adjacents à des volumes occupés et donc considérés comme chauffés. Par contre, ceux de l'annexe et du plan du sous-sol sont isolés étant donné que les premiers sont à côté de garage et les seconds enterrés.

Toutefois, à celles-ci s'ajoutent :

- Annexe végétalisée en toiture créée à l'arrière du bâtiment
- Ajout d'un niveau
- Isolation de la nouvelle toiture principale
- Ajout d'un espace technique réservé au dispositif de ventilation



Malgré que ces quatre derniers points n'aient pas de conséquence directe sur les exigences thermiques et d'étanchéité à l'air à respecter vu qu'il s'agit soit d'une « *extension horizontale* », soit d'une « *extension verticale* » **Figure 91**, il me semblait tout de même important de les traiter car ils ont un impact sur le confort des utilisateurs. En effet, avant la rénovation, le bâtiment ne répondait pas aux critères d'usage et de confort actuels nécessaires à ce type de fonction.



**Figure 91 – Ajout d'un niveau (Source : Bureau A2M)**

Le passif ne consiste pas uniquement à respecter une réglementation en termes d'isolation thermique et d'étanchéité à l'air mais il doit également garantir le confort des personnes et répondre aux besoins nécessaires à l'utilisation du bâtiment d'aujourd'hui, besoins qui ne sont généralement pas identiques à ceux d'hier. Pour assurer le confort au sein de ce bâtiment, il est nécessaire de construire des volumes supplémentaires et par conséquent, de modifier la structure.

Vu la complexité et l'hétérogénéité structurelles du bâtiment, avant d'analyser les étapes de la rénovation, il est plus judicieux d'étudier les changements opérés sur la structure primaire à partir des plans de stabilité ci-dessous. La légende indique le type de structure. Les éléments présentés sont neufs à l'exception de ceux qui sont spécifiés « existants ».

	Fondation largeur/épaisseur		Poutre en BA préfabriquée
	Maçonnerie existante		Poutre en BA préfabriquée existante
	Nouvelle maçonnerie portante		Achelet en BA
	Élément en béton armé		Démolition de la dalle
	Poutre métallique HEA ou HEB		Poutre en bois

Dans les plans de stabilité ci-dessous, la structure horizontale existante est également précisée en tant que telle, contrairement à la structure neuve. Le sens de portée est indiqué. En ce qui concerne le premier plan, des fondations neuves sont coulées principalement en-dessous de l'annexe car celle-ci était inexistante avant les travaux de rénovation. Par contre, au sein du bâtiment principal, nous trouvons des nouvelles fondations uniquement à des endroits ponctuels situés sous la cage d'escalier existante, sous le nouvel escalier secondaire et sous la trémie d'ascenseur afin de renforcer les fondations existantes. Le plancher du rez-de-chaussée est constitué de poutres ainsi que de claveaux existants en béton et, dans l'annexe, en nouvelles prédalles. Par contre, au niveau supérieur, nous trouvons respectivement un plancher existant et des gîtes qui forment la structure de la toiture de l'annexe. Ensuite, de nouvelles prédalles sont placées sur l'ensemble du plan « haut 1<sup>er</sup> étage » et sur une partie du niveau supérieur (sur laquelle est disposée l'espace technique). L'autre partie ainsi que la toiture de cet espace technique sont composées d'un gîte en bois.



Figure 92 - Plan de stabilité, fondations (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)



Figure 93 - Plan de stabilité, haut sous-sol (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)

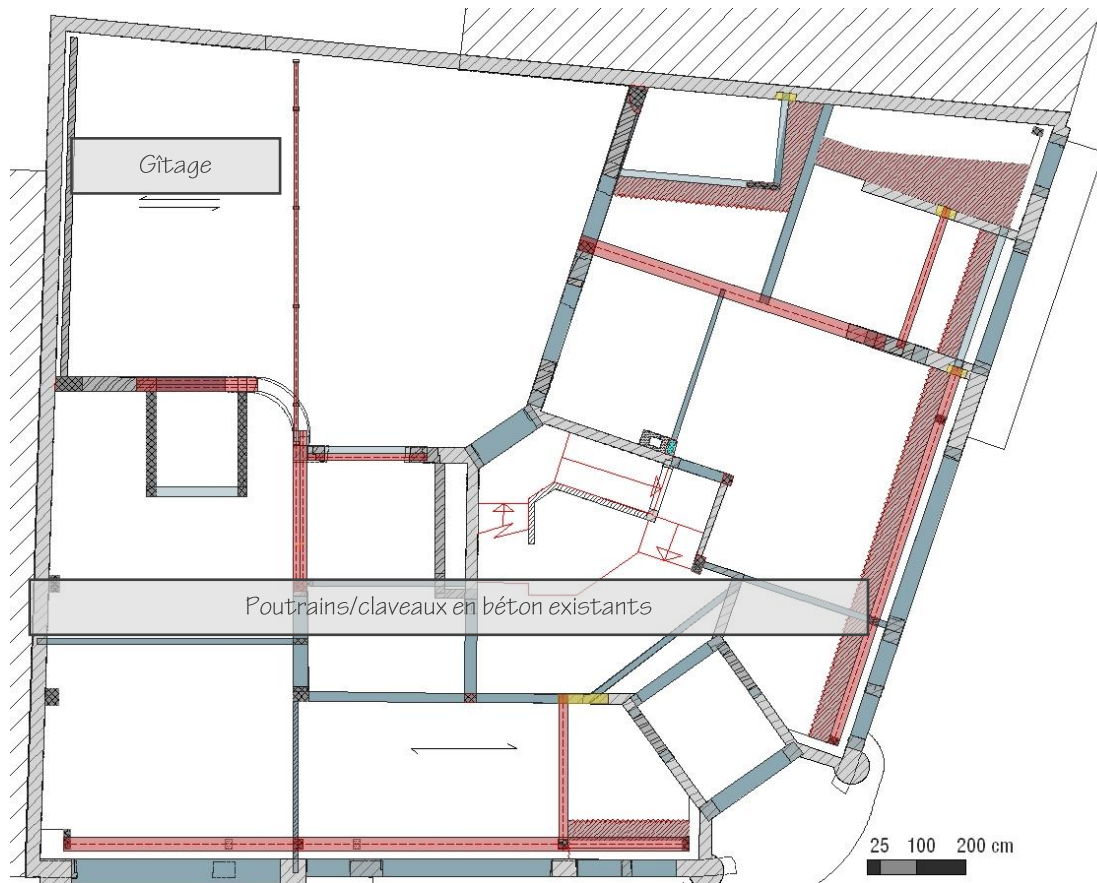


Figure 94 - Plan de stabilité, haut rez-de-chaussée (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)

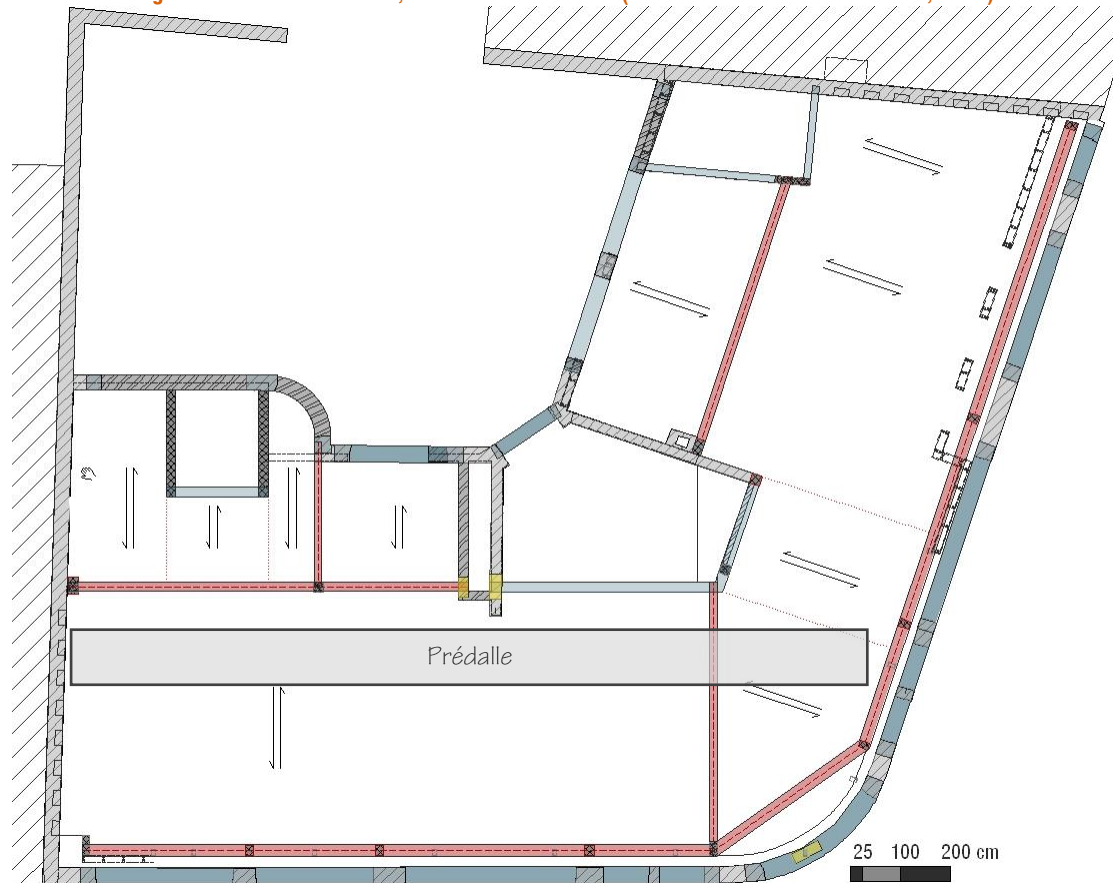


Figure 95 - Plan de stabilité, haut 1<sup>er</sup> étage (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)

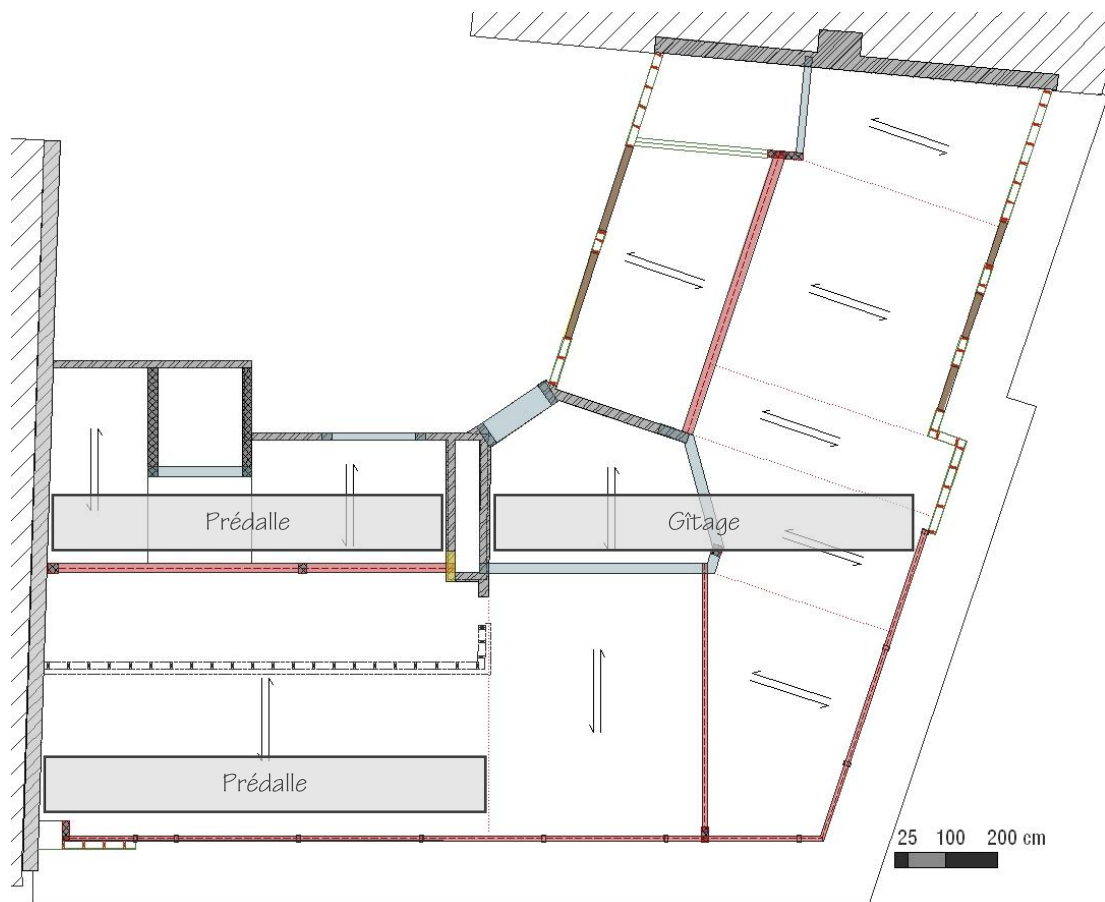


Figure 96 - Plan de stabilité, haut 2<sup>e</sup> étage (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)

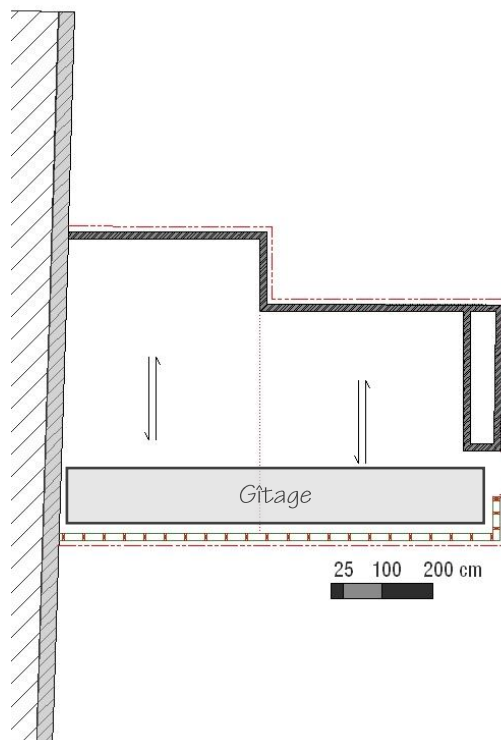


Figure 97 - Plan de stabilité, haut espace technique (Source: Bureau JZH & Partners, 2010)



Sur le plan indiquant les fondations, certaines ont été renforcées dans le nouveau bâtiment. Elles concernent l'emplacement des cages d'escaliers et d'ascenseur.

### Isolation par l'intérieur des façades à rue

L'objectif du maître d'ouvrage était de préserver le cachet architectural du bâtiment et à cette fin, de conserver les façades à rue existantes. La technique d'isolation choisie est donc celle par l'intérieur. Pour éviter les ponts thermiques au droit des dalles en béton, ces dernières sont découpées (Photo 46) afin d'isoler de manière continue entre la dalle et la façade. Elles sont ensuite reprises par la mise en place d'une double structure poutre-colonne à l'intérieur. Le ferrailage de la dalle est également disqué. Initialement, au stade de la conception, le découpage devait être réalisé deux mètres par deux mètres pour éviter de mettre en place des supports qui maintiennent la façade. Cependant, il s'avère que les poutres en I métalliques ont une portée supérieure à deux mètres, variant de 2,6 m à 5 m. La découpe est donc phasée en fonction des portées.

La Photo 47 illustre la réalisation d'encoches dans la dalle aux endroits qui accueilleront les ancrages de la façade dans le but de garantir sa stabilité une fois désolidarisée du reste du bâtiment. En effet, la stabilisation des façades est rendue nécessaire par la désolidarisation complète des planchers et de certains murs porteurs de l'immeuble. Cette stabilisation des façades doit être telle qu'elle assure la stabilité complète des maçonneries des façades.

Dès que les encoches sont exécutées, la poutre est placée. Les ancrages sont des tiges métalliques traversant la façade et la poutre. Elles se terminent dans l'encoche bloquant horizontalement et verticalement de manière efficace les maçonneries des façades (Photo 48). Plus précisément, cet épinglage est constitué d'une tige filetée scellée chimiquement dans les planchers ou dans la maçonnerie des murs stables adjacents aux maçonneries à retenir et d'une plaque en inox d'au moins 200x400x10 mm boulonnée sur cette tige. Pour des raisons architecturales, la présence d'une pièce métallique visible n'est pas acceptable. Ainsi, cette plaque est partiellement gravée dans la maçonnerie à épingler et cachée par la pose d'une demi-brique maçonnée devant cette dernière. L'ensemble de ces éléments est en acier galvanisé pour assurer la pérennité des ouvrages dans le temps. Il est important de noter que la longueur, le diamètre de la tige et donc du forage sont déterminés par la qualité de la maçonnerie à épingler.

La tige de même que l'intérieur de la poutre en I sont ensuite remplis de béton pour premièrement, maintenir les tiges et ainsi le mur vertical en maçonnerie (Photo 49) et deuxièmement reprendre les charges auxquelles la dalle est et sera soumise. Après avoir rempli l'ensemble des cavités le long de la poutre, la mise en œuvre des colonnes en béton armé coulé sur place peut débuter (Photo 50). Elles se situent aux extrémités de la poutre au niveau des armatures d'attente (Photo 47 et Photo 48) soudées sur cette dernière. Après avoir terminé ces opérations de doublage de structure sur l'ensemble d'un niveau, des caissons en OSB sont exécutés dans le vide laissé par la découpe de la dalle (Photo 51). De la cellulose est alors injectée dans ces caissons.



**Photo 46 - Découpe de la dalle en béton (Source : Bureau A2M, 2011)**



**Photo 47 - Encoche dans la dalle en béton (Source : Bureau A2M, 2011)**



**Photo 48 - Ancrage de la façade à rue dans la dalle (Source : Bureau A2M, 2011)**



**Photo 49 - Remplissage de l'encoche par du béton (Source : Bureau A2M, 2011)**



**Photo 50 - Mise en œuvre des colonnes en béton armé (Source : Bureau A2M, 2011)**



**Photo 51 - Exécution des caissons en OSB remplis d'isolant en cellulose (Source : Bureau A2M, 2011)**

Les deux détails suivants illustrent la composition de la façade avant côté rue Vanpé une fois celle-ci isolée par l'intérieur comme expliqué ci-dessus. La poutre métallique qui reprend les charges de la dalle est de type HEB 220. Au niveau du plancher des deux étages, soit le caisson se prolonge sur toute la hauteur du niveau, soit il est arrêté au châssis lorsqu'une ouverture existe (Figure 98). Le châssis existant avec un simple vitrage n'est pas remplacé mais doublé sous la nouvelle structure par un double vitrage. Le détail de la Figure 98 est relatif au détail du plancher du 1<sup>er</sup> étage car le second diffère à un endroit : la dalle n'est pas une dalle en béton existante mais une nouvelle prédalle placée lors de la rénovation.

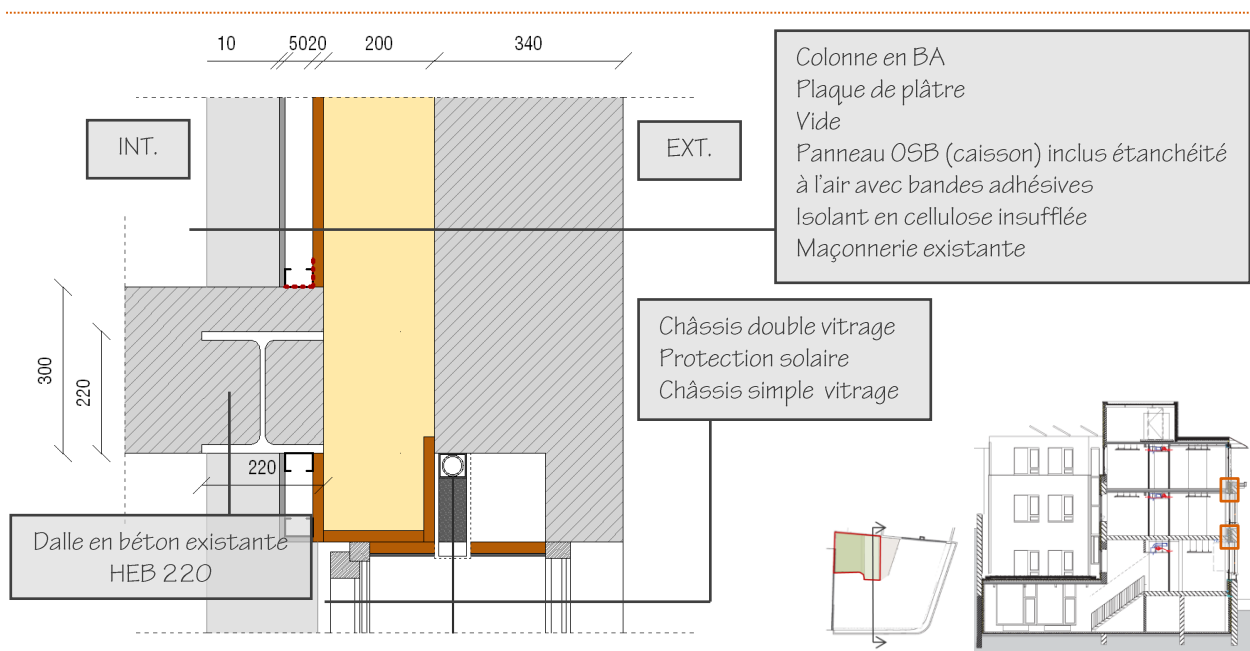


Figure 98- Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant au droit du plancher du 1<sup>er</sup> étage, mesures en [mm]

Par contre, au droit du plancher du rez-de-chaussée, le caisson n'est pas prolongé jusqu'à la dalle de sol mais est remplacé par un isolant en polystyrène expansé appelé aussi EPS et d'un nouveau mur en maçonnerie de 9 cm d'épaisseur car cette paroi est semi-enterrée. (Figure 99) Les raisons précises de cette modification de composition de paroi sont les suivantes :

- La nouvelle maçonnerie participe à la reprise des charges amenées par la structure doublée.
- L'isolant thermique doit conserver sa performance énergétique lorsqu'il est soumis à une humidité constante. C'est pourquoi la cellulose est remplacée par le EPS.
- L'isolant est caractérisé par une résistance mécanique élevée

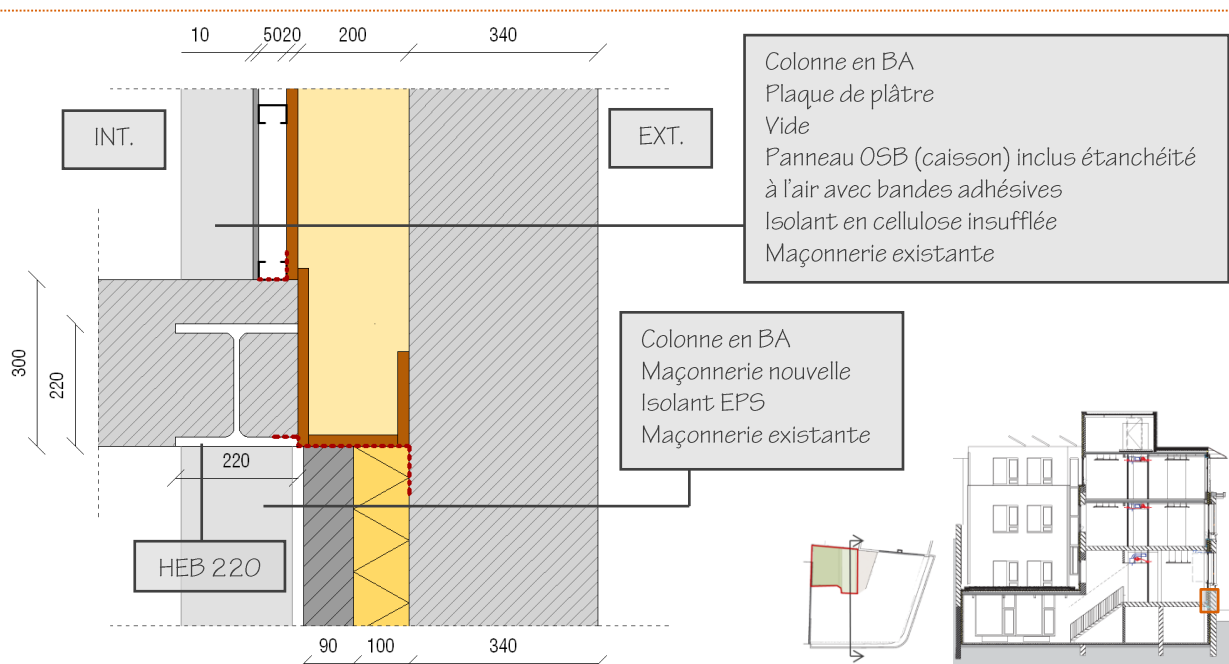


Figure 99 - Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant au droit du plancher du rez-de-chaussée, mesures en [mm]



A l'intersection du plancher du second étage, le détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant côté rue de Liège est identique à celui-ci-dessus. Par contre, le processus d'isolation des deux autres niveaux diffère par la position de la poutre métallique. Celle-ci n'est plus noyée dans la dalle mais est placée sous cette dernière. Ceci est illustré dans l'extrait de coupe à travers la façade rue de Liège.

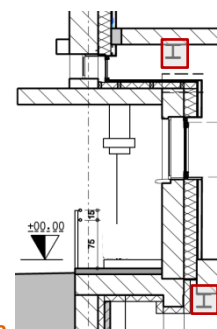


Figure 100 - Extrait de coupe, façade rue de Liège

En ce qui concerne la descente des charges en fondations, elles sont reprises par des poutres métalliques qui sont ancrées dans les murs porteurs du plan haut sous-sol. Nous pouvons remarquer que les fondations n'ont pas été renforcées à ces endroits de reprises.

### ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR DE LA FAÇADE ARRIÈRE

La technique d'isolation de la façade arrière est l'isolation par l'extérieur (Figure 101). Des panneaux de polystyrène sont appliqués directement le long de la maçonnerie existante.

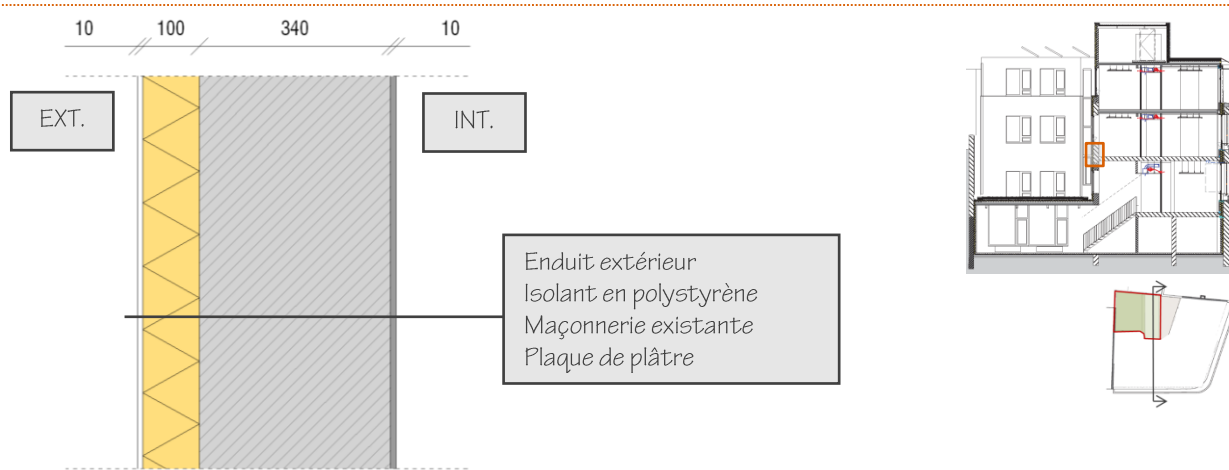


Figure 101 - Détail de la façade arrière, mesures en

### ANNEXE VÉGÉTALISÉE EN TOITURE CRÉÉE À L'ARRIÈRE DU BÂTIMENT

Cette annexe est construite lors des travaux car elle n'existait pas avant la rénovation. Elle abrite une salle polyvalente au demi-niveau enterré appelé sous-sol et une salle de réunion au rez-de-chaussée. Le mur en maçonnerie existant servait de mur porteur au bâtiment voisin. Après les travaux de rénovation, l'annexe s'appuiera contre ce mur. Vu que le niveau de celle-ci est plus bas que le niveau du terrain de la situation existante<sup>32</sup>, il fallait lui prévoir des fondations supplémentaires (sous les existantes) car une partie du terrain est creusée pour étendre le sous-sol. Elles sont annotées par des hachures sur du gris foncé (Figure 102). Ensuite, l'isolant est placé suivi d'un mur en maçonnerie porteur dont l'épaisseur est de 14 cm. Cette épaisseur est suffisante pour reprendre les charges de la dalle car l'annexe présente uniquement deux niveaux dont les dimensions maximums sont celles relatives au premier niveau, c'est-à-dire 8 m sur 6,50 m. Le second niveau de l'annexe a une superficie inférieure, libérant ainsi une toiture terrasse verte intensive. Le mur en maçonnerie de ce niveau est, par conséquent, en retrait et est supporté par une poutre métallique

<sup>32</sup> Le terrain est donc déblayé afin d'aligner les niveaux de l'annexe à ceux du bâtiment principal.

de type IPE 500 posée sur cinq colonnes en béton armé. Notons qu'il n'était pas envisageable d'ancrer directement les prédalles en béton dans le mur mitoyen existant dont l'état n'est pas connu et dont il fallait faire une reprise en sous-œuvre. De cette manière, l'isolant est continu mais ce n'était pas le but premier. En effet, il s'agissait de raisons de stabilité.

L'isolant est inséré entre deux films étanches. Le premier permet à la vapeur d'eau de migrer à partir de l'intérieur du côté chaud de l'isolant. La vapeur peut dès lors traverser celui-ci sans condenser dans les zones plus froides. Le second film empêche l'humidité du mur contre terre ou les remontées capillaires de s'installer dans l'isolant.

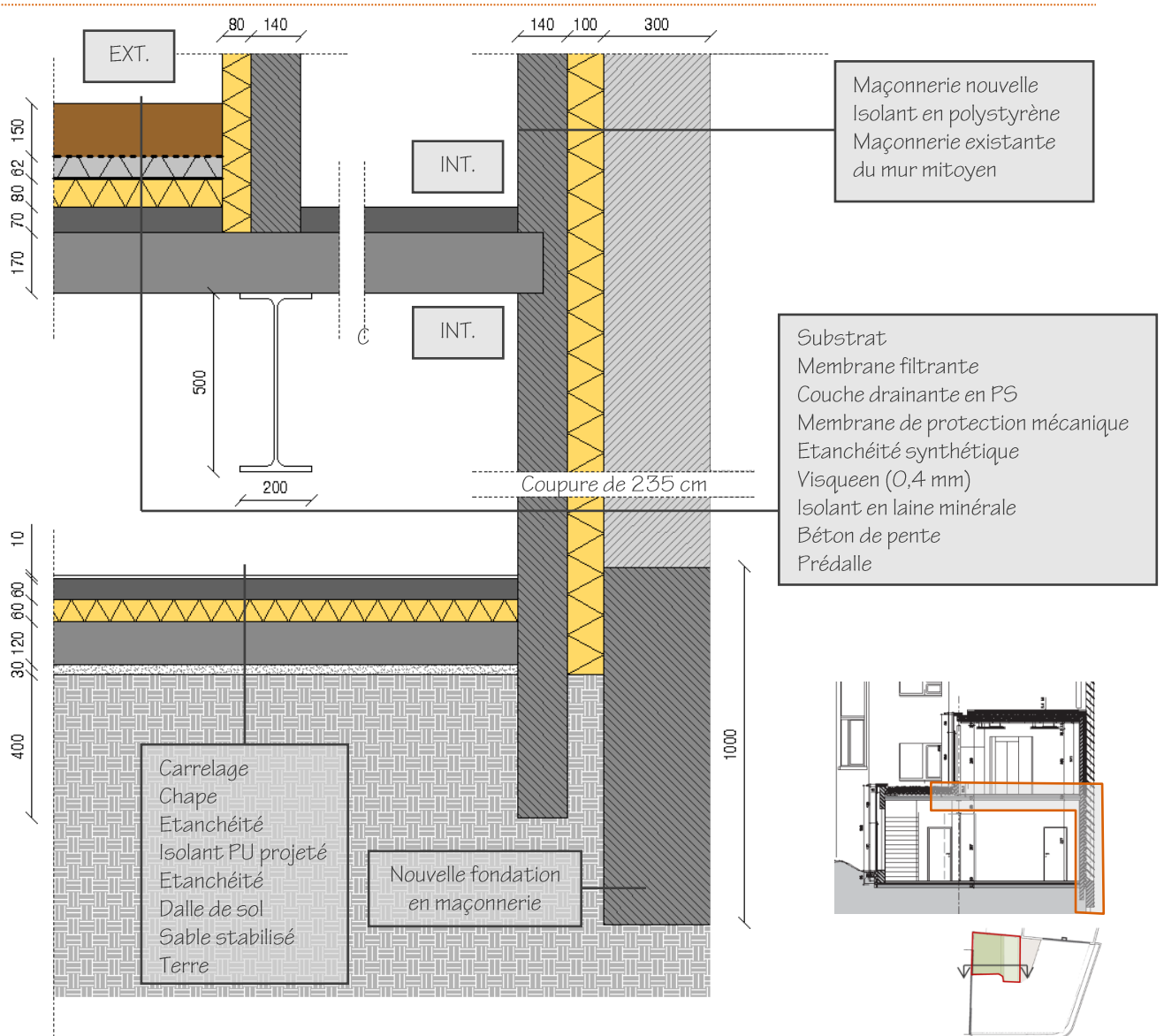


Figure 102 - Détail des parois contre mur mitoyen de l'annexe, mesures en [mm]

La toiture du 2<sup>e</sup> niveau est également une toiture végétalisée intensive. Elle a la même composition que celle du niveau inférieur sauf que le béton de pente et la dalle sont remplacés par un panneau OSB de 2 cm d'épaisseur et en-dessous par des gîtes en bois massif de dimensions 8/23 dont l'entraxe est de 40 cm entre lesquelles la cellulose est injectée. Le tout est dissimulé par un faux plafond.

En ce qui concerne la coupe perpendiculaire à la rue Vanpé, le mur en maçonnerie existant servait uniquement à retenir les terres des jardins et des cours des bâtiments voisins au sein de l'îlot (Figure 103). De la terre est évacuée afin de faire correspondre les différents niveaux de l'annexe et du bâtiment existant. Il a alors fallu prolonger le mur existant pour assurer la reprise en sous-œuvre dans le but de descendre jusqu'à ce niveau.

Le sol du bâtiment principal a la même composition que celui de l'annexe.

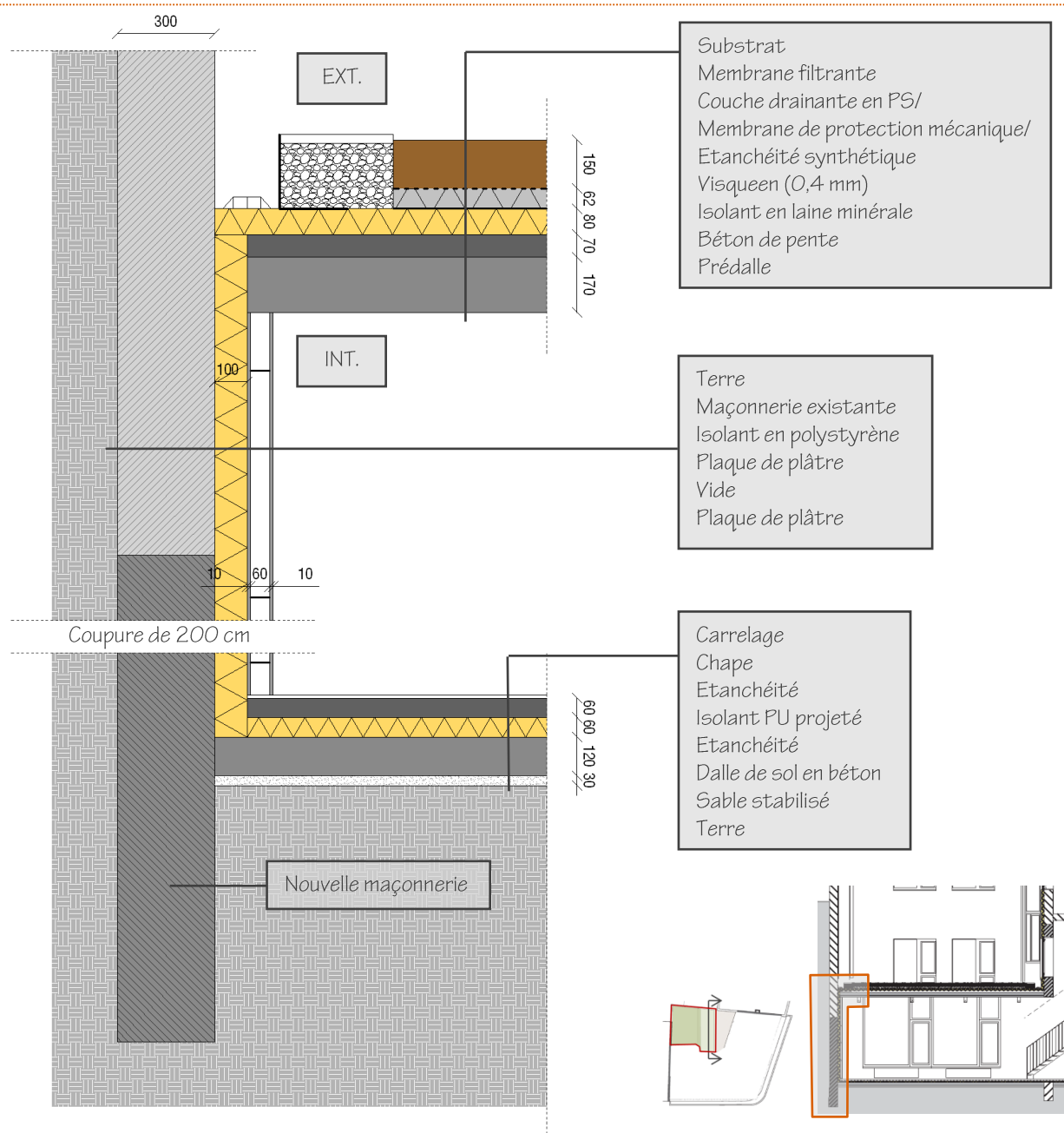


Figure 103 - Détail des parois contre mur de soubassement de l'annexe, mesures en [mm]

### AJOUT D'UN NIVEAU

Pour répondre aux besoins de surfaces exigées par la nouvelle fonction du bâtiment, un niveau supplémentaire est construit. Sa structure est une ossature en bois sur une grande partie du périmètre mise en évidence par un trait rouge sur le plan indiquant la ligne de coupe de la **Figure 104**. Le revêtement extérieur est un revêtement en résine thermodurcissable imitation bois. En ce qui concerne toutes les nouvelles cloisons portantes à ossature bois, à partir de ce niveau, la structure comporte des montants réunis par une lisse haute et basse. Les montants ont une section de 70 x 150 mm minimum et sont posés tous les 40 cm maximum. Les lisses ont la même section que les montants. Les montants d'extrémité sont solidement fixés aux maçonneries existantes ou aux autres éléments de cloisons de façon à assurer une rigidité de l'ensemble. De même, les cloisons à ossature bois sont soigneusement liaisonnées entre elles aux angles, de façon à assurer la rigidité de l'ensemble.

La rigidité horizontale et verticale est assurée par un panneautage en OSB, qualité III, de 16 mm minimum.

L'ensemble c'est-à-dire montants, lisses et panneaux OSB sont cloués entre eux.

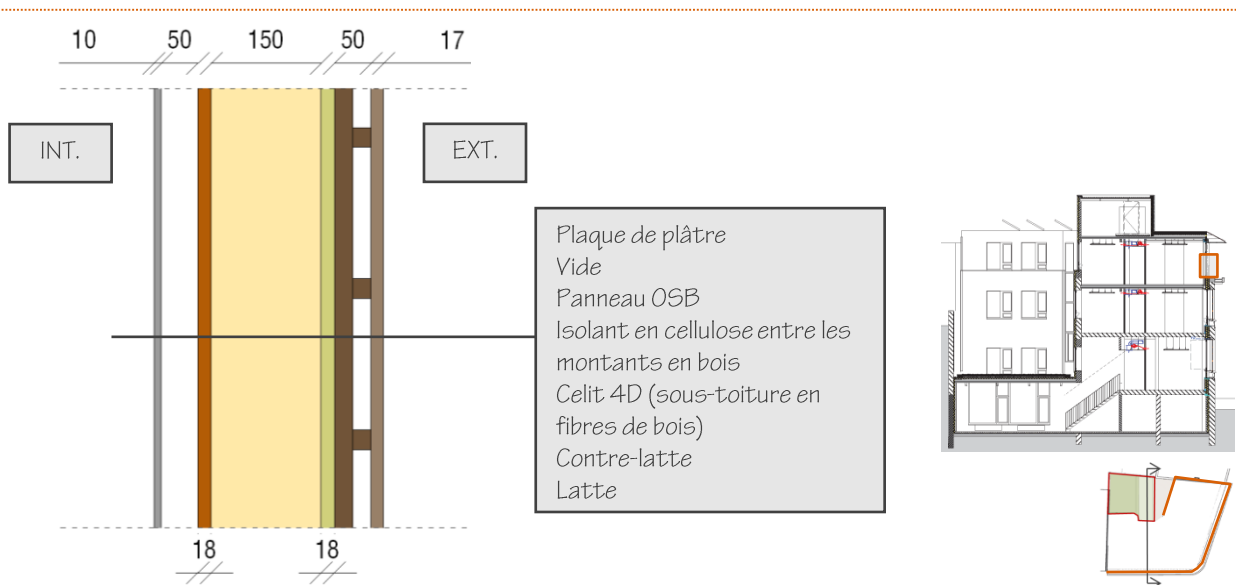


Figure 104 - Détail des parois du niveau ajouté côté rue, mesures en [mm]

La façade arrière du 2<sup>e</sup> étage marquée par le trait rouge sur le plan schématique de la **Figure 105** n'est pas réalisée en ossature bois mais en maçonnerie et en béton. Les blocs de 14 cm d'épaisseur sont placés au centre de l'épaisseur de la maçonnerie existante et une tranche de béton est coulée sur place pour s'aligner à la paroi inférieure.

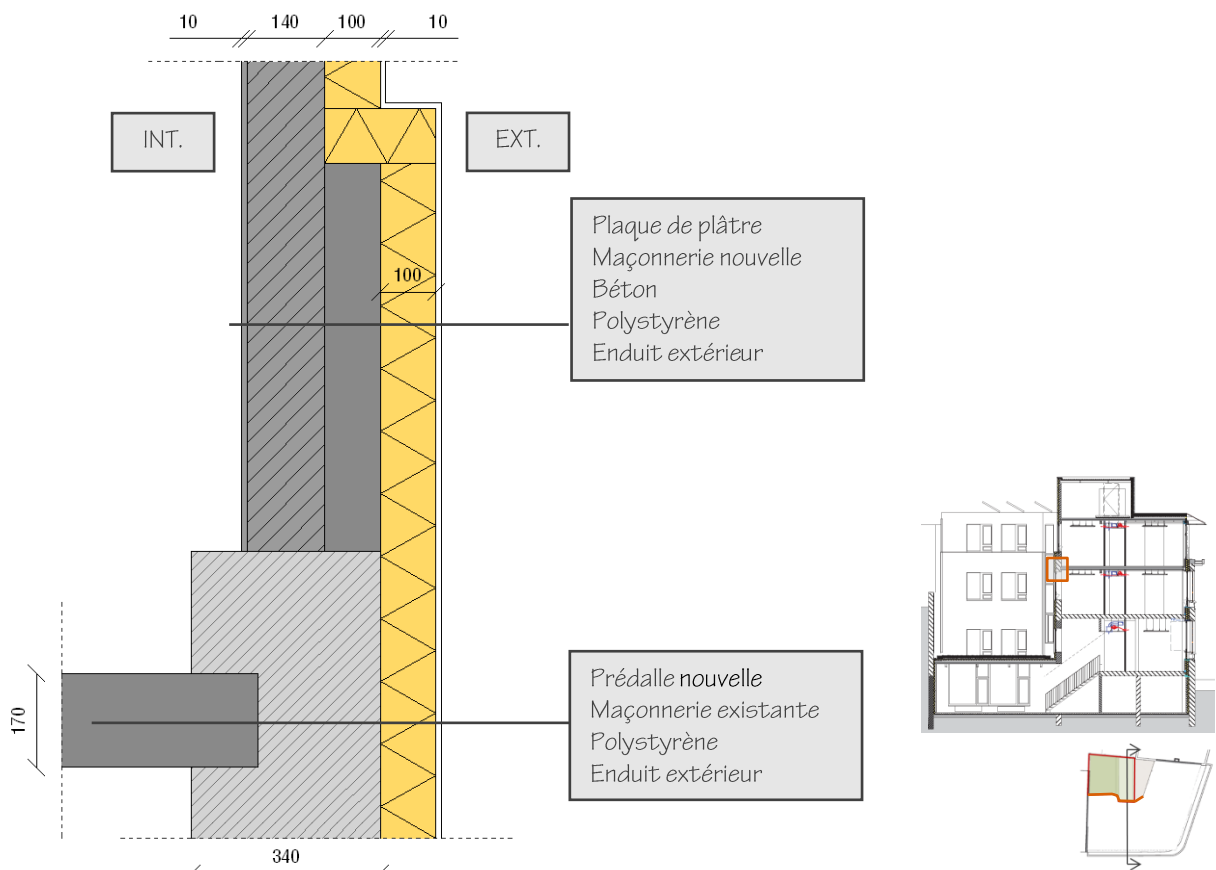


Figure 105 - Détail des parois du niveau ajouté côté annexe, mesures en [mm]

### ISOLATION DE LA NOUVELLE TOITURE PRINCIPALE

La nouvelle toiture plate est réalisée en prédalle (Figure 106) dans la zone du local technique. Le reste de la toiture est composée de gîtes en bois massif.

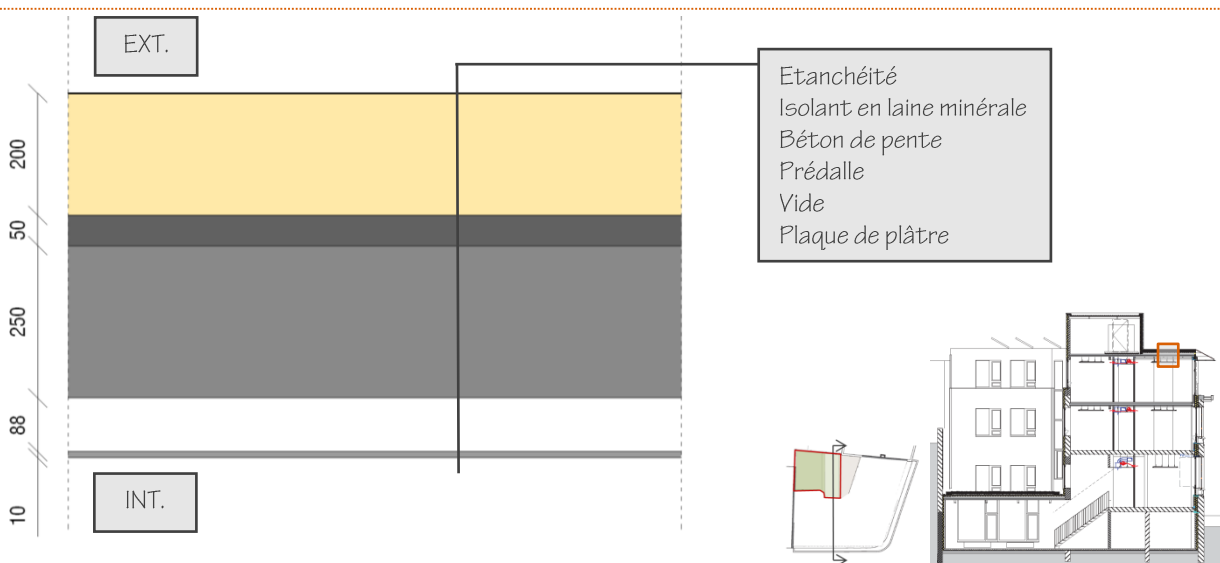


Figure 106 - Détail de la toiture principale, mesures en [mm]

### AJOUT D'UN ESPACE TECHNIQUE RÉSERVÉ AU DISPOSITIF DE VENTILATION

L'espace technique est réalisée en structure légère avec des colonnes en bois massif de dimensions 7 sur 15 cm dont l'entraxe est de 40 cm (Figure 107).

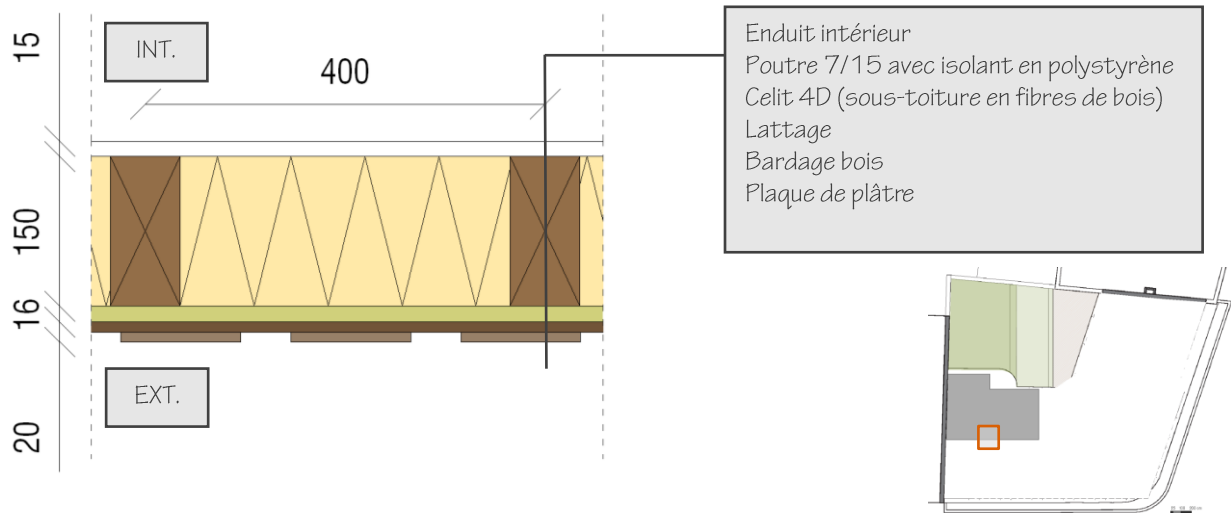


Figure 107 - Détail de la toiture principale, mesures en [mm]

Sur la façade arrière, la composition de la paroi est identique à celle des niveaux inférieurs à l'exception du bloc qui a une épaisseur de 14 cm et du revêtement extérieur qui est un enduit gris.

La structure de la toiture du volume technique est similaire à celle des parois verticales : elle est constituée de gîte en bois massif. (Figure 108)

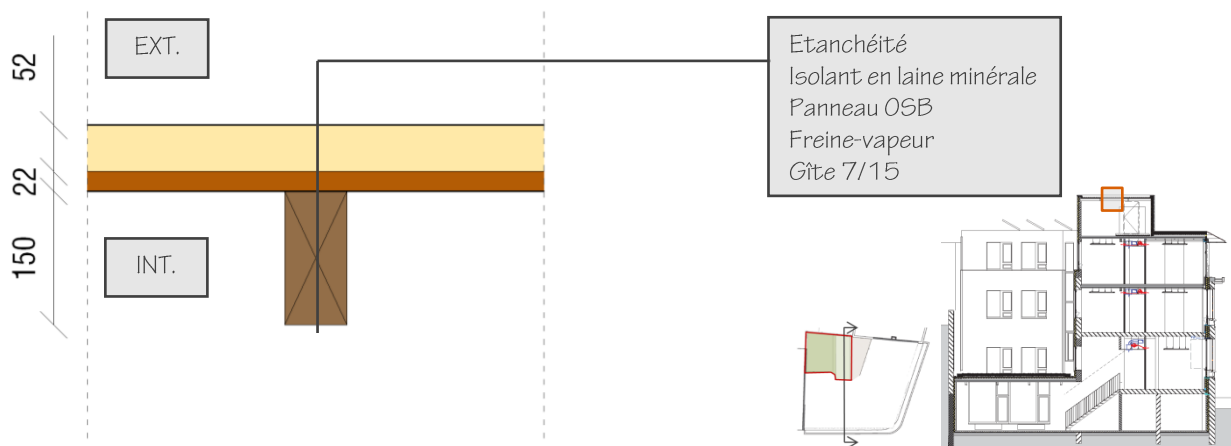


Figure 108 - Détail de la toiture de l'espace technique, mesures en [mm]

## 6.5 DESCENTES DE CHARGES

Vu la complexité de la structure, le calcul a été simplifié et il s'est limité aux murs porteurs du sous-sol définis dans une zone plan. Ces murs, après rénovation, doivent reprendre d'importantes charges ponctuelles induites par les colonnes en béton armé portant les poutres auxquelles le plancher coupé est fixé.

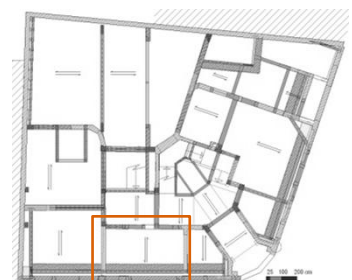


Figure 109 - Zone de la descente de charges

Habiter

Environnement

Objectifs

**Rénovation**

**INTRODUCTION**

Enjeux

Climat

**Société**

Défi

**ETAT DES LIEUX**

Maçonnerie

Etanchéité

Détails

**Isolation**

**ANALYSE DE CAS**

Standard

**Impacts**

Structure

Intentions

**BILAN DE L'ANALYSE**

Conception

Coût

**Outil**

Non résidentiel

**CONCLUSION & PERSPECTIVES**



# BILAN DE L'ANALYSE

## 1 INTRODUCTION DU BILAN

---

Le bilan se développe selon un processus de conception. Il décompose la problématique complexe de ce travail suivant plusieurs paramètres dépendants de variables de départ.

Le chapitre précédent consistait à analyser de manière détaillée chaque projet de rénovation. Le bilan réalise des analyses croisées des différents cas. Des constantes en seront dégagées suivant les paramètres choisis. Des solutions seront alors émises.

L'analyse est divisée en trois phases. Toute d'abord, la première phase décrit les variables de départ à savoir les données relatives au bâtiment existant et les intentions du maître d'ouvrage. Ensuite, celles-ci sont matérialisées en « concepts » énergétiques dans la deuxième phase. Enfin, la dernière traite les aspects techniques et plus précisément, les interventions structurelles.

Chaque bâtiment est différent. Il est fonction de l'âge, de la taille, de l'architecture et de la localisation. En plus de ces facteurs, la disponibilité de main-d'œuvre qualifiée, le budget consacré et les intentions des propriétaires vont influencer la forme et le degré de rénovation du bâtiment. Par conséquent, un concept de rénovation unique ne peut être appliqué à tous bâtiments. C'est pourquoi, l'objectif de ce travail n'est pas de trouver une seule intervention structurelle mais un ensemble de solutions en fonction du type de parois.

Le but de ce mémoire est d'élaborer un outil d'aide à la conception d'une rénovation résidentielle. Ainsi, le bilan va donner aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre, dès le stade de la conception, un premier aperçu des interventions structurelles adaptées à chaque bâtiment pour atteindre le standard basse énergie et passif. Il est, en effet, intéressant, dès la conception du projet de rénovation, de prendre connaissance de ces opérations qui pourraient survenir en fonction des choix réalisés initialement. Or, jusqu'à présent, elles ne sont pas encore intégrées dans la première phase du projet. Par exemple, à Bruxelles, les bâtiments exemplaires disposent chacun d'une fiche réalisée lors de leur conception. Il s'avère qu'au moment des travaux, certains points n'ont pas été exécutés, et ceci est notamment dû à des considérations structurelles qui n'ont pas été prises en compte dès le départ.

Toutefois, cet outil ne doit pas conditionner la conception de la rénovation mais il doit donner une première vision des limites et des libertés, d'où l'importance de ces réflexions en amont du projet. L'objet de l'étude est également de montrer que les interventions structurelles peuvent être plus qu'une contrainte, mais une source de qualité architecturale.

## 2 PHASE I | CONTEXTE & IDÉES

---

### 2.1 VARIABLES DE DÉPART

Les variables de départ correspondent aux premières données relatives au bâtiment existant et aux intentions du maître d'ouvrage quant au projet de rénovation.

#### IMPLANTATION

L'implantation du bâtiment est la première donnée à prendre en compte. Déterminer la région, la commune et la zone urbaine ou péri-urbaine où ce dernier est localisé sont des facteurs essentiels. Ils vont avoir des conséquences directes sur les règles urbanistiques à respecter et les montants des subsides accordés.

#### HISTORIQUE

Cette variable définit si le bâtiment est classé ou non et également son intérêt architectural. Les bâtiments classés doivent respecter des règles strictes en matière de rénovation. Il est essentiel de ne pas les dénaturer afin de conserver leur valeur patrimoniale et architecturale. Deux types de rénovations sont possibles : soit les rénover en les agrémentant d'une touche contemporaine, soit les rénover à l'identique. En général, la seconde option est préférée par l'Administration du Patrimoine. Contrairement à l'image donnée, l'amélioration de leur performance énergétique ne va pas à l'encontre de la conservation de leur identité ; l'approche de notre patrimoine est uniquement différente. En effet, il est conseillé d'agir suivant des mesures qui visent le respect de la valeur historique des bâtiments.

#### PHYSIQUE

La variable « physique » caractérise la volumétrie et l'état général du bâtiment. Quand un bâtiment présente un risque d'instabilité, il faudra le renforcer préalablement avant la réalisation des travaux proprement dits. Sa frontière, c'est-à-dire le degré de mitoyenneté et l'espace libre sur le terrain, doit également être analysée. En effet, un terrain restreint voire inexistant peut avoir des conséquences sur le choix des matériaux à mettre en œuvre lors de la rénovation. De plus, une complète ou une semi-mitoyenneté limite les extensions horizontales.

Outre la volumétrie et l'état de salubrité du bâtiment, cette variable étudie la structure existante en posant diverses questions : *Quel est le type de structure ? Quel est le sens de pose ? Quels sont les matériaux mis en œuvre ?...*

#### ECONOMIQUE

Il est préférable de prévoir une marge budgétaire dans les cas où certains travaux demandent plus d'attention que prévu.

#### INTENTIONS

Les intentions des maîtres d'ouvrage sont diverses : économie d'énergie, montants des factures moins élevés, respect de l'environnement,... Elles orientent ainsi, dans un premier temps, le type de rénovation ciblé par les propriétaires.

## 2.2 COHÉRENCE ENTRE LES VARIABLES

Une fois les variables définies, la question fondamentale à se poser est la suivante (Figure 110) :

*Les intentions sont-elles en accord, cohérentes avec les variables précédentes ?*

Prenons un exemple. Le propriétaire a la volonté d'agrandir son habitation lors des travaux de rénovation car elle ne correspond pas à ses besoins en termes d'espace et de fonction. Si sa maison est mitoyenne, l'extension devra s'orienter soit vers le jardin en créant une nouvelle annexe, soit verticalement en rehaussant la toiture si le règlement urbanistique le permet.

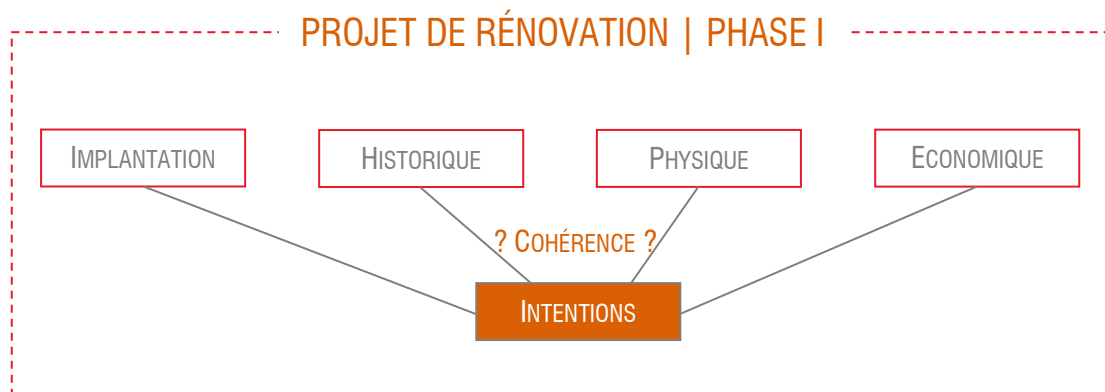


Figure 110 – Phase I d'un projet de rénovation | Variables de départ

## 2.3 TENDANCE DES CAS D'ÉTUDES

Les études de cas présentent certaines constantes au sein des variables. Parmi ces constantes, certaines peuvent être généralisées (elles sont mises en évidence en orange dans le tableau) à l'ensemble du parc immobilier résidentiel à rénover en émettant toutefois une certaine réserve. En effet, les fermes, par exemple, n'ont pas toutes ces caractéristiques (zone urbaine, mitoyenneté,...). Toutefois, la plupart ont une valeur architecturale que les propriétaires souhaitent conserver lors des travaux.

<b>IMPLANTATION</b>	Région Bruxelles-Capitale Province Liégeoise <b>Zone urbaine</b>	<b>HISTORIQUE</b>	Non classé <b>Valeur architecturale</b> <b>Règles urbanistiques</b>
<b>PHYSIQUE</b>	Volumétrie parallélépipédique <b>Annexe(s) existante(s)</b> <b>Mitoyenneté</b> <b>Peu d'espace libre</b> Etat de salubrité : à rafraichir <b>Mur en maçonnerie</b> <b>Structure du plancher en bois</b> <b>Absence d'isolation</b>	<b>ECONOMIQUE</b>	<b>Budget élevé</b> <b>Subsides</b>
<b>INTENTIONS</b>			
<b>Economie d'énergie</b> <b>Respect de l'environnement</b> Habiter en ville			

Tableau 9- Mise en évidence des constances du parc immobilier résidentiel à rénover

## 3 PHASE II | MATÉRIALISATION ET ORIENTATION DES INTENTIONS

---

L'analyse des variables étant terminée, la phase suivante est de matérialiser les intentions qui en découlent en « concepts » énergétiques. Ceux-ci servent de ligne directrice dans le choix du standard de performances énergétiques.

### 3.1 RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

La rénovation énergétique comprend les paramètres ci-dessous. Ils ont été traités dans la partie théorique. Ce point va donc mettre en avant l'orientation choisie des différents cas d'études.

#### STANDARDS

Les standards à performance énergétique élevée exposés dans les cas sont : basse énergie, très basse énergie et passif. Le propriétaire a fixé dès le début de la conception le type de standard souhaité en fonction de ses attentes initiales.

#### PRINCIPES DE BASE

Pour rappel, les principes de base sont : le solaire passif, la compacité du bâtiment, l'inertie, l'isolation, les ponts thermiques, la performance énergétique de l'enveloppe, la ventilation, la surchauffe et le système de chauffage.

#### CRITÈRES

Le respect des exigences requises pour atteindre les standards performants est essentiellement fonction de l'enveloppe et de sa performance énergétique. Notons toutefois qu'il dépend également des autres principes de base (solaire passif,...). La performance de l'enveloppe est donc caractérisée principalement par l'introduction de normes touchant à l'isolation, à l'étanchéité à l'air et à la surchauffe. Ces critères dépendent directement d'un autre principe fondamental : les ponts thermiques.

#### CHAMPS D'ACTION DE CES CRITÈRES

Les critères sont appliqués à l'ensemble des parois du bâtiment à savoir : la toiture, la toiture verte, la dalle sur cave, la dalle contre sol, la façade avant (côté rue), la façade arrière, les murs pignons, le balcon, l'annexe, les ouvertures des parois extérieures.

### 3.2 TABLEAU DE LA PHASE II

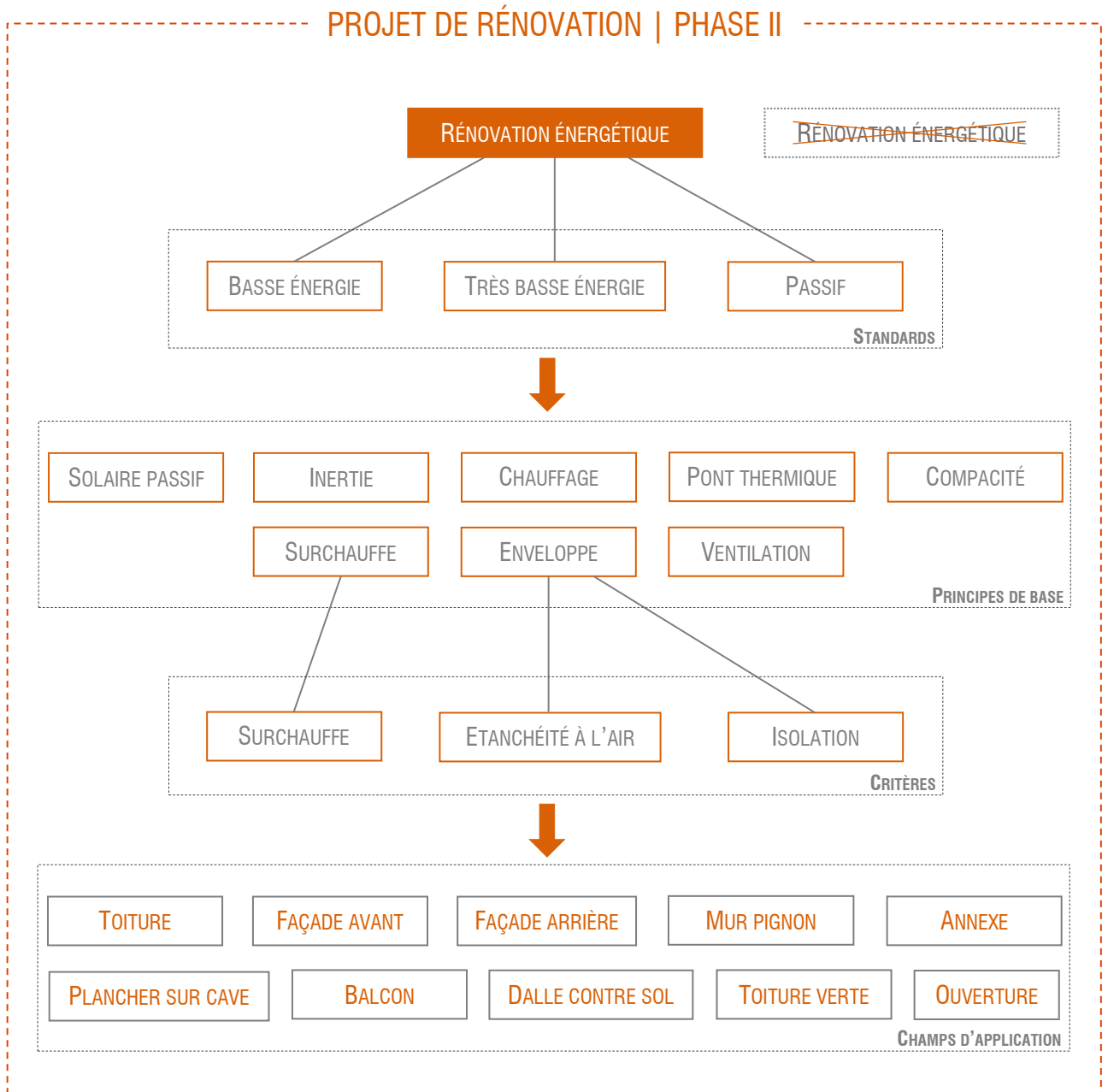


Figure 111 - Phase II d'un projet de rénovation | Rénovation énergétique

## 4 PHASE III | INTERVENTIONS STRUCTURELLES & IMPACTS

---

Les interventions structurelles sont répertoriées par type de parois du bâtiment. Leurs exécutions permettent d'atteindre l'objectif énergétique fixé initialement. Certaines ont des impacts énergétiques et techniques dont il ne faut pas nier l'existence. Ce bilan réalise également un inventaire de ces derniers et de leurs solutions. Le but est de donner aux propriétaires et aux architectes des pistes de solutions pour aborder la rénovation.

Pour chaque paroi, il est expliqué dans quelle situation il est préférable de recourir à telle intervention structurelle plutôt qu'à une autre.

Les interventions structurelles et leurs impacts analysés dans cette partie sont résumés dans des tableaux récapitulatifs. Les détails réalisés sont des exemples de configuration ; il existe évidemment des alternatives. Certaines interventions sont qualifiées par leur poids et leur coût.



## 4.1 TOITURE PLATE ET INCLINÉE

Les habitations appartenant à l'ancien parc immobilier ne sont pas isolées en toiture. En effet, la thermographie aérienne de Bruxelles, par exemple, dévoile que l'isolation des toitures varie de « partielle » à « absente ».

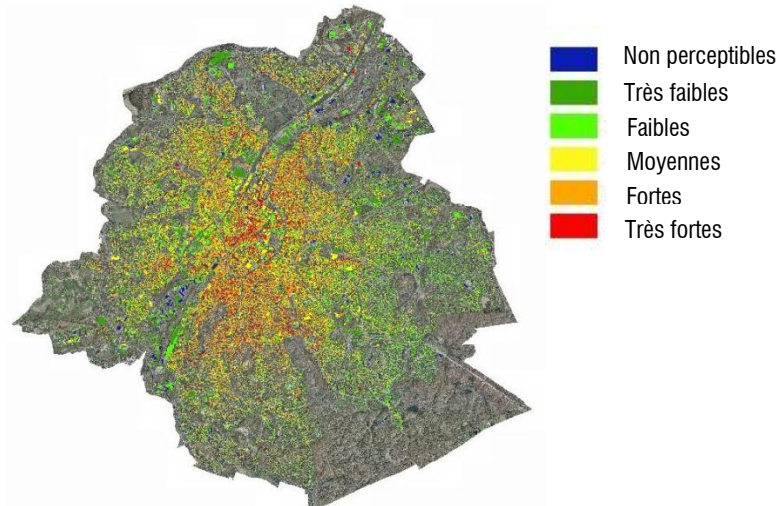


Figure 112 - Thermographie aérienne de Bruxelles

Les toitures sont constituées d'une structure en charpente ou en pannes associées à des chevrons. En général, pour les maisons mitoyennes, les pannes sont ancrées dans les murs voisins et les chevrons sont placés perpendiculairement à ces dernières.

Les analyses de cas ont révélé que les toitures existantes de bâtiments anciens sont généralement remplacées lors des travaux de rénovation. Deux raisons expliquent ce choix :

- Leur instabilité. De plus, dû à leur état, certaines n'auraient pas supporté une épaisseur d'isolant aussi importante, de l'ordre de 35-40 cm, soit un poids variant de 175 à 200 N/m<sup>2</sup> pour l'ouate de cellulose. Par ailleurs, pour d'autres toitures, la structure de la charpente exigera uniquement un renforcement pour tolérer une telle épaisseur.
- Une extension verticale du volume pour répondre aux besoins actuels en terme d'espace.

Les nouvelles structures sont de trois types :

- Poutres FJI (appelées également TJI) porteuses : Pour les cas *Maison mitoyenne | Eupen* et *Maison mitoyenne | Schaerbeek*, elles assurent le rôle joué par les pannes et les chevrons avant les travaux de rénovation. En forme de I, elles sont composées de membrures en lamibois<sup>33</sup> de 51 mm d'épaisseur et de 96 mm de largeur maximum. Entre la membrure haute et la basse, une âme en OSB III (de 10 mm d'épaisseur maximum) est collée<sup>34</sup> dans les rainures réalisées dans le lamibois. [Finnforest, 2012] Les avantages de ces poutres sont la légèreté, la facilité de découpe,

<sup>33</sup> Le lamibois est « le produit d'ingénierie bois le plus performant pour la structure. Il est formé de placages d'épicéa obtenus par déroulage. Les placages de 3 mm sont assemblés les uns aux autres avec des joints «scarfés» et décalés. Ils sont ensuite collés à chaud sous haute pression. L'ensemble des placages sont soit orientés dans le même sens soit avec 20 % de plis croisés à 90° pour une plus grande stabilité ». [Finnforest, 2012]

<sup>34</sup> La colle utilisée est hydrofuge.

leur portée (allant jusqu'à 20 m) et leur capacité importante à reprendre les charges. Leur section en I permet d'optimiser la matière tout en offrant une bonne résistance à la flexion pour les membranes supérieures et inférieures. (Figure 113)

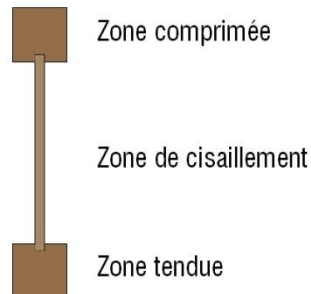


Figure 113 - Poutre FJI soumise à flexion (à gauche)

Une toiture composée de panneaux photovoltaïques peut être reprise sans problème.

Une fois mises en place, ces poutres forment un caisson fermé par une sous-toiture (souvent de type Celit 4D) côté extérieur et par un freine-vapeur (de type Intello ou panneau OSB) côté intérieur. Ensuite, l'isolant en ouate de cellulose est insufflé à l'intérieur du caisson. (Figure 37) Il est utilisé pour ses caractéristiques : facilité de mise en œuvre, coût, performance isolante et acoustique, légèreté, écologique et épouse les formes régulières.

Le cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek* indique que les poutres en I sont placées perpendiculairement au sens de la pente<sup>35</sup>. En présence d'une mitoyenneté, elles sont fixées par des sabots métalliques sur une filière continue perpendiculaire. Cette filière est ancrée dans les maçonneries existantes au moyen de tiges filetées scellées chimiquement dans les murs. (Photo 30) La toiture et la maçonnerie sont donc au même niveau.

Par contre, il n'en est pas de même pour les bâtiments non-mitoyens, semi-mitoyens et mitoyens (dont leur hauteur est plus élevée par rapport aux maisons voisines). Ces bâtiments présentent des pignons extérieurs qu'il faut isoler. Or, particulièrement pour atteindre le standard passif, il est indispensable d'assurer la continuité de l'isolant sur l'ensemble de l'enveloppe englobant le volume chauffé. La solution présentée dans le cas *Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek* est de poser les poutres en I sur les murs pignons. De plus, elles doivent déborder sur une épaisseur égale à celle de l'isolant placé contre la maçonnerie verticale. Ainsi, l'isolant est continu entre le mur vertical et la toiture. (Photo 42)

En ce qui concerne ce cas et plus particulièrement pour une partie de la toiture principale, les poutres jouent le rôle des chevrons. Elles sont donc parallèles à la pente et posent sur les pannes. Pourquoi ? Car cette partie de toiture en pente est accolée au bâtiment voisin. Le but est de s'ancrer le moins possible dans les murs voisins afin de répéter le travail un minimum de fois. En effet, seules quelques poutres en font l'objet. Par contre, l'autre pente de toiture n'est pas mitoyenne d'où le changement du sens de portée des FJI.

<sup>35</sup> Les bâtiments résidentiels dont la toiture est en simple ou en double pente présentent généralement une faîtière parallèle à la rue. La plupart des maisons n'ont donc pas pignon sur rue, permettant ainsi de généraliser cette solution à un maximum de maisons mitoyennes.

- Poutres faîtières et chevrons en bois lamellé collé ou en bois massif : ce système ressemble à une structure traditionnelle. Il n'a pas été choisi pour des raisons structurelles ou thermiques. La toiture aurait donc pu être réalisée en poutres TJI. L'architecte Monsieur Opdebeek affirme que cette option résulte ici du choix de l'entrepreneur. Celui-ci a en effet l'habitude de travailler avec ce type d'ossature pour la toiture, réduisant ainsi le temps de travail.
- Prédalles : elles sont principalement mises en œuvre pour les bâtiments non résidentiels. (*Bâtiment en zone protégée | Forest*)

Outre les questions d'instabilité et d'extension verticale, il est préférable de reconstruire la toiture et de la rehausser légèrement quand un/des murs sont isolés par l'extérieur. L'isolation sera alors continue entre la toiture et le mur évitant ainsi tout pont thermique.

Lors d'une rénovation, même énergétique, toutes les toitures des maisons n'ont pas l'obligation d'être remplacées. En effet, prenons l'exemple d'une maison située à Auderghem. Elle était toujours en cours de rénovation (très basse énergie) lors de la visite avec Monsieur Goetghebuer, conseiller en énergie du bureau MATRIciel<sup>36</sup>. La toiture avant la rénovation est constituée uniquement d'une faîtière et d'une panne sablière sur le mur en maçonnerie car la distance entre les deux est de 4 m 50. Les chevrons posent ensuite perpendiculairement. La structure est conservée, c'est-à-dire les deux pannes et la plupart des chevrons ; seuls ceux en mauvais état ainsi que la couverture sont remplacés. L'isolant en ouate de cellulose est ensuite placé entre les chevrons et la fibre de bois sur ces derniers. Ce type de toiture est nommé *toiture sarking*. Etant donné que le poids de la toiture a augmenté après les travaux (dû à l'isolant et à la sous-toiture), les chevrons sont renforcés par une gîte ancrée dans les mitoyens de dimensions 7/18 associée à deux cornières métalliques (Figure 113 et Photo 52). Celles-ci assurent son maintien à l'ossature existante. Tout comme la poutre, les cornières seront emballées par la membrane freine-vapeur afin de garantir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe.

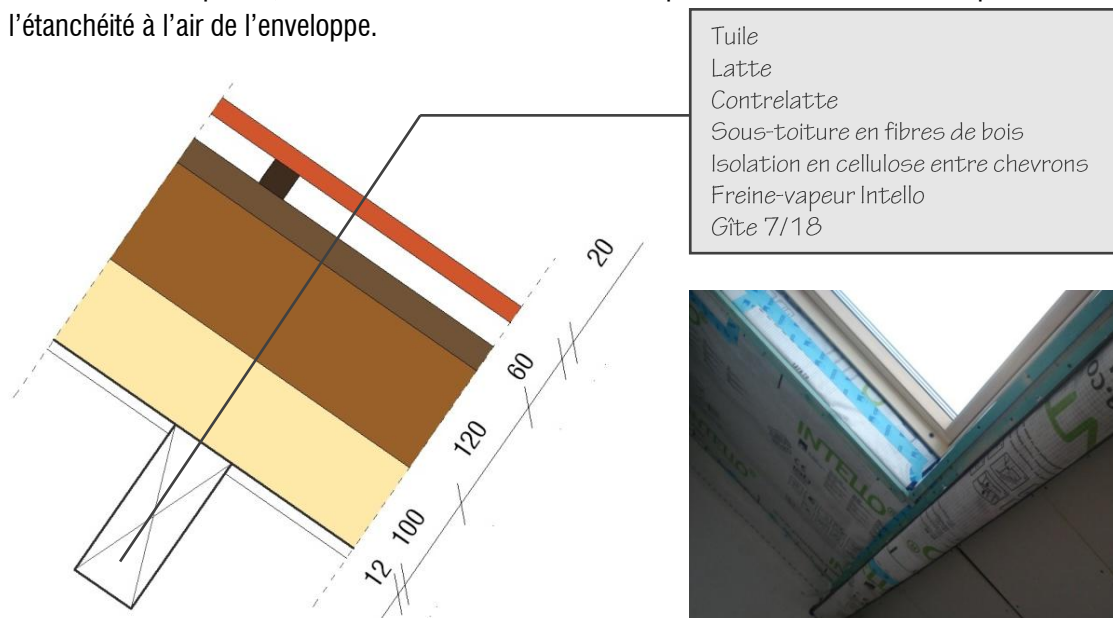


Figure 114 - Détail du renforcement de la toiture, mesures en [mm]



Photo 52 - Renforcement de la toiture

<sup>36</sup> Il est propriétaire de la maison avec son épouse Mme Moens, l'architecte du projet (bureau Pluricité).

### IMPACTS STRUCTURELS

Le poids de la toiture après rénovation est plus élevé. Cette augmentation provient principalement de l'épaisseur importante d'isolation (entre 30 et 40 cm). Il est également probable qu'elle résulte de la nouvelle structure en TJI même si cette dernière est caractérisée par sa légèreté. Toutefois, les cas concernés ont montré que le poids de l'ensemble est suffisamment limité. Le renforcement des maçonneries et des fondations sur lesquelles repose la toiture peut donc être évité. Ceci dépend évidemment de l'état initial de ces dernières. Par contre, au stade de l'avant-projet<sup>37</sup>, il est prudent de ne pas généraliser ce constat à une ossature, plus massive, posant sur la maçonnerie existante telle que : pannes et chevrons en bois massif. Dans le cas *Maison en cœur d'îlot | Schaerbeek*, cette solution est utilisée car elle ne repose pas sur les anciens murs mais sur une nouvelle structure dimensionnée dans ce sens. Notons également que le projet du CPAS présente en partie des toitures plates en gîtes composées de bois massif. Il est évident que le poids de ces dernières ne remet pas en question la résistance de la maçonnerie et des fondations car initialement, elles portaient une structure nettement plus lourde, des dalles en béton armé.

Après l'étude des cas, nous pouvons remarquer que les poutres TJI sont préconisées quand la toiture est remplacée. Certes, elles possèdent de nombreuses qualités (mise en œuvre, légèreté, résistance...) mises en évidence par les entrepreneurs en tant qu'arguments de vente. Cependant, en étudiant des cas de plus près, nous pouvons remarquer des petites faiblesses. En effet, elles sont étré sillonnées dans le cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek* pour assurer leur maintien. De plus, plus tard dans l'avancement des travaux, la membrane freine-vapeur Intello a dû être remplacée par un panneau OSB dans la zone de la lucarne. Son rôle est de renforcer la structure en FJI car une flèche pouvait déjà être observée.

### IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

Le choix de l'ossature influence les résultats thermiques de la toiture. Comparons les éléments en bois lamellé collé ou en bois massif et ceux de type TJI. Les premiers présentent une épaisseur identique à celle des poutres en I mais sur l'entièreté de leur largeur. Toutefois, la résistance thermique sur cette épaisseur est plus faible contrairement à une épaisseur identique pour une poutre en I. En effet, dans ce cas, la diminution de résistance est présente sur une largeur tellement faible (âme de maximum 10 mm) qu'elle peut être négligée. Ainsi, pour la contrebalancer dans le premier cas, il est préférable de placer un second isolant côté intérieur. Dans le projet *Maison en cœur d'îlot | Schaerbeek* mais également pour d'autres parois appartenant à d'autres cas, le freine-vapeur est placé entre les deux couches d'isolant et non du côté chaud de l'ensemble. L'explication sera donnée plus loin dans le chapitre concernant les parois mitoyennes.

En ce qui concerne la dalle en béton, il n'est pas pertinent de la comparer d'un point de vue énergétique avec les ossatures en bois car ce sont des matériaux différents qui se comportent donc différemment. Notons uniquement que la conductivité thermique du béton est environ huit fois supérieure à celle du bois.

---

<sup>37</sup> En effet, il s'avéra peut-être, après une étude de stabilité du bâtiment existant, que les maçonneries et les fondations seront suffisamment résistantes.

## 4.2 TOITURE VERTE

Des propriétaires souhaitent parfois lors d'un projet de rénovation énergétique une toiture verte. La difficulté de sa mise en œuvre dans un bâtiment existant résulte de son poids élevé (environ 300 kg/m<sup>2</sup>). La maçonnerie doit donc être suffisamment résistante. Or, cette condition n'est pas garantie dans tous les cas vu la différence de poids entre la toiture initiale et celle espérée. Il est alors conseillé, surtout quand la toiture végétalisée est intensive<sup>38</sup>, de la placer sur un petit volume et non à la place du toit principal. Ceci est illustré dans les cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek* et *Bâtiment en zone protégée | Forest*. Les toitures vertes sont affectées aux annexes car ces dernières sont soit des extensions, soit une reconstruction d'une annexe instable présente dans la situation existante. Les structures utilisées sont composées soit de béton, des prédalles, soit de bois à savoir les poutres TJI ou les poutres en bois massif. Malgré une multitude d'avantages (régulation de l'eau de pluie, isolation, inertie, espace vert en ville,...), l'emplacement de cette paroi requiert ainsi une attention particulière d'un point de vue structurel au risque d'aboutir à des conséquences désastreuses.

---

<sup>38</sup> Car son poids est plus élevé qu'une toiture extensive.

### 4.3 DALLE CONTRE SOL

Les dalles contre le sol n'échappent pas à la règle ; leur isolation est absente dans les bâtiments résidentiels appartenant au bâti ancien. Elles sont généralement composées d'un revêtement (carrelage, dalle,...) placé sur une couche de sable. Il est préférable de démolir la dalle pour différentes raisons : tassement de la dalle à certains endroits, limiter la différence de niveau entre la dalle et le niveau du sol<sup>39</sup>, préserver des hauteurs sous-plafond viable et isoler. Quand l'isolation de la dalle atteint des épaisseurs importantes, il est parfois nécessaire de creuser dans le sol.

Une fois la dalle démolie, une couche de sable stabilisé est posée, suivi d'un isolant et d'une dalle en béton. L'isolant est inséré entre deux films étanches. Le premier permet à la vapeur d'eau de migrer à partir de l'intérieur du côté chaud de l'isolant. La vapeur peut dès lors traverser celui-ci sans condenser dans les zones plus froides. Le second film empêche l'humidité du mur contre terre ou les remontées capillaires de s'installer dans l'isolant. Parfois, pour éviter ces remontées dans les murs de caves et les murs de façades, des injections sont pratiquées dans ces derniers.

Il convient de ne pas utiliser une structure en bois pour ce type de paroi mais une dalle en béton. Par conséquent, l'isolant utilisé requiert une résistance mécanique (à la compression) et à l'eau élevée. Il ne doit donc pas être sensible à l'humidité. Ceux généralement utilisés sont : les panneaux en polystyrène et les panneaux en mousse résolique.

### 4.4 PLANCHER SUR CAVE ET SUR VIDE VENTILÉ

L'isolation du plancher sur cave ou sur vide ventilé n'engendre pas systématiquement sa démolition contrairement à de nombreux cas de dalle contre sol. De plus, celui-ci expose deux types de structures possibles :

- Un gîtage en bois massif. Il peut être conservé quand sa pérennité n'est pas mise en danger. Si le revêtement est également maintenu (*Maison mitoyenne | Schaerbeek*), certaines planches sont tout de même enlevées pendant le temps d'insufflation de la cellulose entre les gîtes. Pour éviter des ponts thermiques, un panneau d'isolant (souvent en fibres de bois) est placé sous le plancher côté cave ou vide ventilé. Par contre, si le revêtement est remplacé, le panneau est souvent posé sur la structure.

Lors de certaines rénovations, le gîtage existant est remplacé par un nouveau pour des raisons de détérioration ou parce qu'il implique des conséquences thermiques. En effet, le plancher du cas *Maison mitoyenne | Eupen* est enlevé car il n'était pas suffisamment épais pour accueillir l'épaisseur prévue en isolant entre les gîtes. Pour éviter de modifier la structure alors que celle-ci était toujours stable, il aurait été plus judicieux, pour des raisons financières, de le conserver et d'ajouter une épaisseur plus importante d'isolant en-dessous et/ou au-dessus.

- Une dalle en béton. Elle est isolée de part et d'autre avec les panneaux.

<sup>39</sup> Si une isolation suivie d'une nouvelle dalle en béton sont mises en place sur la dalle existante, le niveau du sol à l'intérieur du bâtiment risque d'être trop élevé par rapport à celui de l'extérieur.



## 4.5 FAÇADE AVANT/À RUE

La façade avant des études de cas est réalisée en maçonnerie pleine non isolée. Son épaisseur varie entre 30 et 40 cm pour les briques et entre 50 et 70 cm pour les moellons.

Lors de la rénovation, un des travaux est d'isoler la façade et la rendre étanche à l'air. Cette opération est réalisée par l'intérieur pour deux raisons : conserver sa valeur architecturale/patrimoniale et son alignement par rapport aux façades voisines (contraintes urbanistiques). Toutefois, cette technique entraîne la formation de ponts thermiques. Ils sont détectés aux points d'ancrage du plancher à la façade. Or, les standards très basse énergie (proches du passif) et principalement passifs exigent leur suppression. Pour assurer la continuité de l'isolation et de l'étanchéité à l'air<sup>40</sup>, il est donc nécessaire de couper la partie du plancher fixée dans la façade. Ces deux éléments sont ainsi désolidarisés. Les charges du plancher doivent alors être reprises par une nouvelle structure isolée et placée dans l'espace laissé vide après la découpe. Les cas ont permis d'exposer différentes solutions structurelles en fonction du type de plancher rencontré ci-après. Chaque solution entraîne des questionnements au niveau de la structure et auxquels il faut porter son attention. Expliqués en détail dans les études de cas, ils sont rappelés brièvement ici.

- **GITAGE EN BOIS ANCRE DE FAÇADE A FAÇADE PAR L'INTERMEDIAIRE DE MURS PORTEURS (CAS MAISON MITOYENNE | SCHAERBEEK)** : Les gîtes, une fois leur tête découpée, sont portées par une poutre recomposée via des sabots métalliques (Figure 34). Pour rappel, voici le détail de celle-ci. Elle est constituée d'une lisse inférieure, d'une lisse supérieure et d'entretoises verticales en bois massif. Le caisson est isolé au moyen de fibres de bois et il est refermé par deux panneaux OSB III d'épaisseur 18 mm. Cette poutre assure la rigidité de l'ossature bois pour la reprise des planchers. A l'intersection du sabot et de la poutre recomposée, les charges du plancher engendrent un cisaillement important causé par un moment conséquent dû à un petit bras de levier. Il est donc essentiel de s'assurer que la poutre puisse le supporter.

Entre deux poutres recomposées, des supports verticaux en bois (poutre en I), FJI, sont placés. Un panneau en OSB, jouant le rôle de freine-vapeur, vient ensuite fermer le caisson dans lequel est insufflé de la cellulose. La maison située à Eupen présente une membrane Intello à la place de ce panneau. Mais il n'était pas possible de remplacer l'OSB par la membrane dans le cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek*. En effet, en plus d'assurer sa fonction première, il garantit le contreventement de la maison (fonction structurelle). Les poutres FJI situées entre deux poutres recomposées sont soumises à un effort de compression. Elles doivent donc avoir une résistance à la compression suffisamment élevée. Cette dernière est donnée dans les fiches techniques des constructeurs.

- **POUTRE FIXÉE DE FAÇADE A FAÇADE SUR LAQUELLE SONT POSEES DES GITES EN BOIS (CAS MAISON MITOYENNE | EUPEN)** : La façade avant est isolée au moyen d'un caisson composé de poutres en I (FJI) fermé par une membrane Intello. Ensuite, la cellulose est insufflée à l'intérieur. Les poutres sont coupées sur ces deux épaisseurs. Elles sont alors reprises par de nouvelles colonnes en bois situées dans l'épaisseur du panneau en fibre de bois. Cette disposition permet de placer le freine-vapeur

<sup>40</sup> L'étanchéité à l'air est réalisée par la mise en place d'un freine-vapeur. Celui-ci, comme pour l'isolant, doit être continu pour assurer pleinement son rôle.

derrière les colonnes de manière continue sur toute la façade. (Figure 14) Notons que le flambement de la poutre doit être vérifié.

Cette solution est plus simple techniquement par rapport au cas précédent et identique d'un point de vue énergétique (isolation et étanchéité à l'air). Cela s'explique par le nombre d'ancrages du plancher dans la façade. Celui-ci n'en comporte que trois contrairement à l'autre projet qui en compte quatorze. Il était donc plus judicieux, dans ce cas-là, de mettre en œuvre une structure unique (la poutre recomposée) qui porte l'ensemble des gîtes plutôt qu'un élément structural et ponctuel correspondant à chaque gîte. Cette explication vaut pour l'inverse également. En effet, placer une poutre recomposée le long de la façade n'est pas pertinent vu que celle-ci serait alors chargée par le plancher uniquement à trois endroits.

- **POUTRAINS CLAVEAUX EN BETON SUR DEUX APPUIS DONT L'UN EST LA FAÇADE (CAS BATIMENT EN ZONE PROTEGEE | FOREST) :** Pour éviter les ponts thermiques au droit des dalles en béton, ces dernières sont découpées afin d'isoler de manière continue entre la dalle et la façade. Elles sont ensuite reprises par la mise en place d'une double structure de poutres métalliques en I portées par des colonnes en béton armé coulées sur place. Des caissons en OSB sont alors placés dans le vide laissé par la découpe de la dalle. De la cellulose est alors injectée dans ces caissons. La double structure est pour finir recouverte par une dalle en béton. (Figure 98)

Pour ces projets, le plancher existant a donc été conservé, coupé et porté par une nouvelle ossature. Il n'en est pas de même pour le cas *Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek*. Constitué de gîtes en bois portant entre les façades, il est enlevé car il présentait une flèche trop importante. Il est alors remplacé par un système semblable aux poutres claveaux : il s'agit d'un plancher semi-fabriqué dont les poutres sont en béton précontraint et les entrevous voûtés en fibres de bois. Le tout est ensuite recouvert d'une dalle en béton armé. Les avantages de ce procédé sont la forme en creux des entrevous permettant le passage de technique avec un faux-plafond réduit et la légèreté amenée par le bois. Malgré que le poids de ce plancher en N/m<sup>2</sup> soit dix fois plus élevé à celui d'un plancher en bois existant, le renforcement des fondations existantes est évité. La maçonnerie doit pouvoir résister à cette augmentation de charges. De plus, contrairement aux cas précédents, une nouvelle structure n'est pas introduite entre la façade en maçonnerie et le plancher ; c'est un panneau isolant en mousse. La raison est la suivante. Le sens de portée du plancher étant modifié, il est ancré désormais dans les murs mitoyens. Cette modification permet non seulement d'obtenir une section plus faible des poutres claveaux mais également de répartir les charges sur les différents murs porteurs. (Figure 76) Toutefois, il est préférable de garder le même sens de portée quand il n'est pas possible de connaître l'état des murs mitoyens et leur résistance. Une solution alternative est de mettre en place un plancher semblable à celui avant la rénovation, c'est-à-dire un gitage perpendiculaire aux façades. Il serait alors fixé à une poutre recomposée posée sur des ossatures en FJI ; ce dispositif est semblable à celui de la maison mitoyenne à Schaerbeek. Contrairement à cette dernière, ce bâtiment est plus haut et abrite des appartements. Les charges étant donc plus importantes, il faut vérifier si une structure uniquement en bois sur toute la hauteur est suffisamment résistante.

Isoler la façade par l'intérieur et couper les planchers engendrent des impacts structurels et énergétiques. Ne pas les analyser et les résoudre pourraient conduire à des effets désastreux. Ces impacts sont étudiés ci-dessous.

## IMPACTS STRUCTURELS

La première conséquence structurelle résulte des charges reprises par la double structure intérieure, à savoir celles transmises par les planchers et son poids propre. En effet, une fois le plancher désolidarisé, l'objectif est d'amener les charges aux fondations. Si une attention particulière ne lui est pas apportée, le risque est de voir apparaître d'éventuels tassements différentiels ou fissurations conséquents. Il est donc essentiel d'amener les charges de la double structure aux fondations. Outre cette considération, l'étude de certains cas (*Maison mitoyenne* | *Schaerbeek*, *Logement collectif semi-mitoyen* | *Etterbeek* et *Bâtiment en zone protégée* | *Forest*) a également révélé que ces charges étaient transmises à des murs porteurs autres que ceux de départ. Elles sont ainsi réparties plus uniformément sur les différentes fondations du bâtiment. De plus, ces murs porteurs s'avèrent être les murs mitoyens dont les volumes voisins sont occupés et chauffés ou les murs porteurs intérieurs. Ainsi, des éléments structurels ancrés dans ces derniers ne font pas l'objet de ponts thermiques importants. Par ailleurs, leurs têtes sont emballées avec une membrane freine-vapeur pour l'étanchéité à l'air. Les projets exposent plusieurs solutions pour amener les charges aux semelles :

- La double structure intérieure du cas *Maison mitoyenne* | *Schaerbeek* est reprise en cave par des linteaux métalliques mis en place avant le montage de l'ossature. Ils sont ancrés dans les murs mitoyens et dans les murs porteurs intermédiaires sur des asselets de répartition. (Figure 36) Pour éviter l'ancrage dans les murs mitoyens dont l'état n'est pas connu, une solution est de placer des blocs Ytong sous le caisson en FJI jusqu'au sol de la cave. Ainsi, les charges seront davantage réparties sur une plus grande longueur. La fondation (celle de la façade avant) supportant une partie des charges des planchers serait ainsi celle qui les supportait déjà avant les travaux de rénovation.
- Le cas *Maison mitoyenne* | *Eupen* dispose de murs de cave existants. Leur épaisseur est plus importante que celle du mur supérieur. Ainsi, avant la rénovation, ils reprenaient les charges transmises par la poutre du plancher du rez-de-chaussée. Après les travaux, cette augmentation d'épaisseur des murs de cave reprend désormais la double structure intérieure en plus de la poutre. (Figure 15) Cette structure induit une augmentation de la charge linéaire ; la résistance du mur et des fondations doit donc être vérifiée.
- Les charges des planchers en béton du CPAS de Forest sont transmises aux poutres en I métalliques et ensuite aux colonnes en béton armé. Elles sont ensuite dirigées vers les fondations par l'intermédiaire des murs porteurs présents dans le plan haut sous-sol. (Figure 92 et Figure 93)
- En ce qui concerne le cas *Logement collectif semi-mitoyen* | *Etterbeek*, comme cela est expliqué précédemment, la structure du plancher est remplacée et le sens de portée modifié. La structure est ancrée à présent dans les murs mitoyens permettant ainsi aux charges de descendre directement sur les fondations. (Figure 76)
- La *Maison en cœur d'îlot* | *Schaerbeek* est un cas particulier car tout a été démoli à l'exception des murs le long des limites mitoyennes. Cette rénovation se base sur le principe « d'une boîte dans une boîte » et donc sur celui du façadisme. Les charges induites par la nouvelle structure ne sont donc pas transmises aux fondations existantes mais à de nouvelles fondations montées à côté des existantes et ce, par l'intermédiaire de colonnes. (Figure 57) Cette technique a deux avantages : elle évite de s'ancrer dans les murs mitoyens et permet d'isoler par l'intérieur sans

pont thermique. Par contre, le coût est très élevé car ce bâtiment revient à construire un nouveau dans une enveloppe, limitant ainsi le déplacement dans l'espace. Construire le même bâtiment sur un terrain aurait diminué le coût. Pour comparer, le prix de celle-ci par rapport à la maison mitoyenne de Schaerbeek dont la surface est à peu près identique est deux fois plus élevé.

Nous pouvons remarquer que deux cas sur cinq reprennent les charges avec une nouvelle structure ancrée dans les murs mitoyens. Or, l'état (résistance,...) de ces murs n'est pas et n'a pas toujours la possibilité d'être connu. En effet, avant la rénovation, ces murs ne supportaient pas des charges élevées telles que celles des planchers (permanentes et surcharges), il est donc difficile de prévoir si ils en sont capables. Il est donc plus judicieux de garder le même sens de portée et une descente de charges similaire. Ceci veut dire qu'il faut éviter de dévier descente de charges vers des fondations qui lui sont perpendiculaires.

La seconde conséquence structurelle provient de la désolidarisation de la façade des planchers. Une fois coupés, ils ne sont plus en contact avec cette dernière. Il est donc important qu'elle soit capable de tenir et de résister par elle-même notamment à la pression du vent. Le problème est qu'elle pourrait se désolidariser totalement<sup>41</sup> ou entraîner soit des fissures, soit son effondrement dans le cas de bâtiments très hauts. La maçonnerie doit dès lors être épinglée à la structure du bâtiment et plus précisément, au droit des planchers. Les cas présentent principalement deux solutions en fonction du type de plancher :

- Plancher en béton (*Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek et Bâtiment en zone protégée | Forest*) : La façade est stabilisée par des ancrages métalliques. Ce sont des tiges traversant la totalité de son épaisseur. A leur extrémité côté intérieur du bâtiment, elles sont scellées chimiquement par du béton coulé dans des encoches réalisées dans la dalle existante. Sur leur extrémité côté extérieur, est boulonnée une plaque en inox pour le cas *Bâtiment en zone protégée | Forest*. Pour des raisons architecturales, la présence d'une pièce métallique visible n'est pas acceptable. Ainsi, cette plaque est partiellement engravée dans la maçonnerie à épingler et cachée par la pose d'une demi-brique maçonnée devant cette dernière. Par contre, le cas *Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek* ne présente pas de plaque visible car cette extrémité est ancrée chimiquement dans la maçonnerie existante. (Photo 38)
- Plancher en bois : Les maçonneries des cas *Maison mitoyenne | Eupen, Maison mitoyenne | Schaerbeek* et *Maison en cœur d'îlot | Schaerbeek* sont stabilisées avec des ancrages métalliques. L'épinglage de la façade est constitué d'une tige filetée ancrée dans la structure des planchers. Aux extrémités de la tige, deux plaques en inox sont fixées. La première est appliquée contre la maçonnerie à épingler (côté façade) et la seconde contre la nouvelle ossature en bois et plus précisément, contre la poutre murailleuse (recomposée) dans le cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek*. Les plaques étant visibles sur la façade extérieure, cette solution a un impact sur l'esthétique du bâtiment (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Le cas *Maison mitoyenne | Eupen* évite cet inconvénient : une plaque est appliquée contre la colonne reprenant la poutre principale et l'autre extrémité est ancrée chimiquement dans la maçonnerie existante. Une autre solution est de placer une cornière métallique (de type LPN) fixée par des chevilles chimiques dans la maçonnerie existante et dans l'ossature intérieure en bois. Ce système d'accroche n'est donc pas visible de l'extérieur. Les deux dernières solutions sont privilégiées quand les murs de l'enveloppe à stabiliser sont situés le long des limites mitoyennes car

<sup>41</sup> Par se désolidariser totalement, nous entendons : se détacher des murs pignons qui lui sont perpendiculaires.

seule la moitié du mur appartient au maître d'ouvrage. Ainsi, au vu des règles urbanistiques concernant la mitoyenneté, l'ancrage ne doit pas traverser l'épaisseur totale du mur mitoyen.

### IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

L'impact majeur rencontré lors d'une isolation par l'intérieur est le risque de condensation de la vapeur d'eau. Elle se produit sur la face intérieure du mur existant (entre le mur et l'isolant) car les briques, une fois la paroi isolée, deviennent plus froides. Ce risque est donc le résultat d'un changement de comportement hygrothermique de la paroi par rapport à la situation avant la rénovation. Pour contrecarrer cet impact, un freine-vapeur à diffusion variable est placé pour limiter la condensation. La vapeur peut dès lors migrer de l'intérieur vers l'extérieur et de l'extérieur vers l'intérieur quand l'air est plus sec. L'isolant doit donc être capable d'absorber de l'humidité sans que ses caractéristiques n'en soient altérées. Malgré ces précautions, il est conseillé de réaliser un calcul dynamique à l'aide d'un logiciel (Wufi, par exemple) sur l'évolution de la migration de la vapeur d'eau au cours des années. Il permettra ainsi de s'assurer que la paroi ne soit pas imprégnée d'eau.

Un second impact peut également provoquer une accumulation d'humidité au même endroit. Elle est causée par une absorption élevée de la façade car l'isolation empêche le mur de sécher. En hiver, des éclatements de la brique peuvent apparaître quand l'humidité interne gèle. La solution adéquate est d'enduire la façade d'un revêtement hydrofuge. Elle sera ainsi imperméable à l'eau mais perméable à l'air. Ce traitement est utilisé dans le *Bâtiment en zone protégée | Forest*.

Une fois tous les ponts thermiques supprimés, l'enveloppe, dont l'isolation et l'étanchéité à l'air sont continues, est dite « parfaite ». Associé à d'autres principes, elle permet d'atteindre le standard le plus exigeant, à savoir le standard passif.

## 4.6 ÉVITER LES INTERVENTIONS STRUCTURELLES

Parmi les interventions structurelles, certaines peuvent être évitées mais il est essentiel de prendre conscience des conséquences de ce choix. Il faut alors les confronter avec les objectifs fixés en amont du projet. S'ils ne sont pas compatibles, soit nous devons avoir recours à une autre solution d'interventions, soit nous devons revoir nos objectifs.

Une des parois a la possibilité d'échapper aux interventions structurelles qui découlent de la performance énergétique à atteindre. Il s'agit de la « façade à rue » lorsque celle-ci est classée ou lorsqu'elle doit respecter l'alignement à rue. Différents dispositifs sont expliqués ci-dessous. Ils concernent l'isolation et l'étanchéité à l'air par l'intérieur de murs en maçonnerie pleine dont les planchers sont constitués de gîtes en bois.

La solution envisagée ici est de ne pas couper la tête des gîtes ou des poutres ancrées dans la maçonnerie. Son application est visible dans le projet de rénovation de Monsieur Goetghebuer à Auderghem de même qu'un second situé à Liège. Il s'agit d'une maison de maître divisée en appartements, rénovée selon le standard « basse énergie ». Ces appartements servent de projet « témoin » et font donc l'objet de visites organisées par l'asbl Eco'Hom. Lors d'une d'entre elles, l'architecte Yves Piron a expliqué que le revêtement du plancher a été enlevé sur 5 cm le long de la façade avant. Cette technique assure la continuité de l'isolant et de l'étanchéité à l'air le long de la façade à l'exception des points d'ancrage des gîtes dans le

maçonnerie (Figure 115). L'isolant, en matelas de cellulose, est placé dans une structure métallique fixée au mur. Ces éléments conduisent à une augmentation des déperditions. Le choix d'un lattage en bois aurait été préférable.

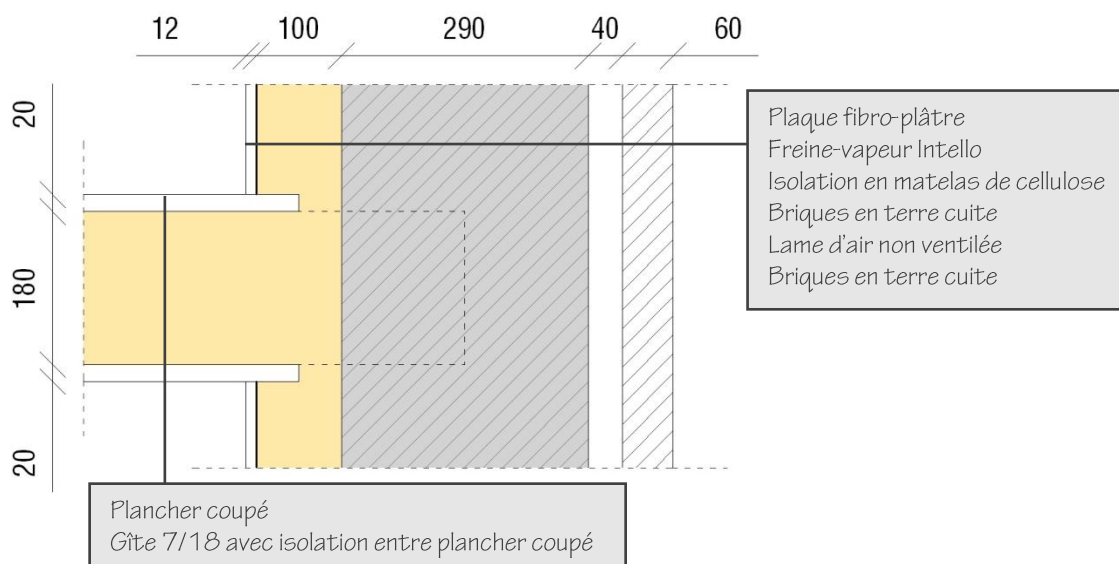


Figure 115 - Isolation par l'intérieur sans découpe des gîtes, mesures en [mm]

### IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

Lors de l'interview de Monsieur de Hults du bureau LUWOGÉ consult GmbH<sup>42</sup>, il a rappelé la problématique suivante : le point de rosée déplacé vers l'intérieur suite à l'isolation par l'intérieur, entraîne le risque d'accumulation d'humidité derrière l'isolant et dans la maçonnerie. Il est donc préférable, quand il est possible, d'isoler les murs par l'extérieur. L'origine de cette humidité est exposée ci-après, ainsi que les problèmes qui en découlent et leurs solutions. Nous pourrions remarquer que ces solutions sont celles exécutées dans les cas étudiés dans ce travail.

« Cette humidité provient de :

- *La convection :*
  - *Problème : l'air intérieur chaud contient plus d'eau que l'air froid. Lorsqu'il s'infiltrer derrière l'isolant par des interstices, il se refroidit et condense.*
  - *Solution : la paroi côté intérieur doit avoir une étanchéité à l'air parfaite.*
- *La diffusion :*
  - *Problème : l'air chaud et humide diffuse à travers les matériaux vers l'air froid extérieur. En chemin, il condense au point de rosée.*
  - *Solution : bloquer ou contrôler la diffusion de vapeur par un pare ou freine-vapeur.*

<sup>42</sup> LUWOGÉ consult GmbH est « un bureau de consultance dont l'objectif est de promouvoir l'efficacité énergétique et la durabilité dans la construction et la rénovation des bâtiments. Cette société allemande, filiale directe de LUWOGÉ GmbH – la société immobilière de BASF, est également présente en France, et en Belgique. » (Source : BrusselsGreenTech)



- *L'humidité extérieure :*
  - *Problème : principalement les pluies battantes.*
  - *Solution : traitement hydrophobe de la façade si façade fortement exposée.*
  
- *L'humidité pré-existante:*
  - *Elle doit absolument être limitée.*
  
- *L'humidité ascensionnelle et autres sources d'humidité (fuites,...) :*
  - *Elle doit absolument être supprimée.* » [Monsieur de Hults, 2012]

Des problèmes surviennent également au niveau des têtes de gîtes en bois encastrées dans la maçonnerie extérieure :

- Humidité fortement préjudiciable : risque de pourrissement et à terme de rupture.
- Pont thermique
- Point faible de l'étanchéité à l'air
- Point faible pour la diffusion

Certaines solutions sont illustrées dans les cas étudiés (maison d'Auderghem et appartement Eco'Hom). En effet, pour limiter ces problèmes au niveau du plancher encastré, l'isolation et l'étanchéité à l'air seront continues sauf au droit des gîtes (**Figure 115**). Les têtes de ces dernières sont alors soigneusement emballées par une membrane d'étanchéité à l'air pour améliorer la performance énergétique (**Photo 53**).



**Photo 53 - Membrane d'étanchéité à l'air autour des gîtes, projet en cours de rénovation à Auderghem**

Malgré ces précautions pour éviter l'humidité dans l'isolant et dans les gîtes et donc leur éventuel pourrissement, il est conseillé de simuler les profils de condensation des parois isolées par l'intérieur à l'aide d'un logiciel (Wufi ou Glasta, par exemple).

Un autre impact énergétique important concerne l'isolation. Elle est discontinue aux points d'ancrage des gîtes dans la maçonnerie extérieure. Des ponts thermiques subsistent donc ponctuellement à chaque niveau. C'est pourquoi la performance énergétique des habitations concernées est le standard basse énergie ou très basse énergie. En effet, le standard passif ne peut pas être atteint avec de tels ponts thermiques ! Ainsi, nous pouvons en conclure que la performance énergétique choisie initialement influence directement le type d'interventions à effectuer au niveau des murs extérieurs lors de la rénovation. Par

contre, en ce qui concerne les autres parois, les interventions possibles sont semblables quel que soit le standard choisi (basse énergie, très basse énergie et passif).

## 4.7 FAÇADE ARRIÈRE

La façade arrière d'un bâtiment ancien, généralement non isolée, est conservée. Toutefois, quand il est question d'instabilité et/ou d'extension verticale, la zone affectée est remplacée et/ou prolongée. Ainsi, il existe deux options qui entraînent des interventions structurelles différentes pour chacune d'elles :

- **CONSERVATION TOTALE DE LA FAÇADE EXISTANTE** : Il est conseillé de l'isoler par l'extérieur si elle n'est pas classée. Les dispositifs identiques à ceux pour la façade à rue seront dès lors évités (coupure du plancher,...) et leurs impacts atténués. L'isolant est placé contre la surface externe de la maçonnerie existante. Les cas présentent deux types à savoir l'ouate de cellulose insufflée dans un caisson en FJI fermé par un pare-pluie en fibres de bois (souvent le Celit 4D) et des panneaux en polystyrène. Vu que leur conductivité thermique est semblable (environ 0,04 W/mK), les épaisseurs nécessaires varient dans la même zone, entre 24 et 30 cm pour les bâtiments résidentiels. Par contre, pour le cas *Bâtiment en zone protégée | Forest*, il s'avère que les panneaux en polystyrène placés sur la façade arrière ne font que 10 cm. L'explication sera donnée dans le point « Cohérence entre les solutions choisies ».
- **REMPLACEMENT TOTAL, PARTIEL ET/OU EXTENSION VERTICALE** : Une nouvelle structure doit être mise en place. Il peut s'agir d'une ossature FJI doublée par une ossature en bois massif, d'une ossature en FJI seule ou d'un nouveau mur en maçonnerie. Les isolants utilisés sont identiques au point précédent et leurs épaisseurs sont fonctions de la structure choisie.

### IMPACTS STRUCTURELS

Malgré que les isolants tels que ceux abordés ici soient caractérisés notamment par leur légèreté, leur mise en œuvre dans des épaisseurs si importantes suscite des questions de nature structurelle<sup>43</sup> : Comment ces charges sont-elles transmises ? A quelles parois ? L'étude des cas permet d'établir trois solutions :

- Le toit de l'annexe du cas *Maison mitoyenne | Schaerbeek* reprend les charges du caisson et de l'isolant. Il les transfère ensuite au mur porteur à proximité. Il est évident que le caisson en bois est également accroché aux maçonneries adjacentes à l'aide d'une série d'équerres métalliques.
- L'isolant est posé sur un rebord de la maçonnerie. (Figure 105)
- Les panneaux d'isolant sont fixés à la façade par des plots de mortier-colle renforcés par des fixations chevillées.

L'ensemble des informations relatives à la façade arrière sont valables pour les façades si elles ne sont pas classées, si elles n'ont pas de valeur architecturale et si elles ne doivent pas respecter l'alignement à rue des habitations voisines.

Il est important de signaler lors de l'isolation par l'extérieur de la façade, que l'isolant descend jusqu'à être enterré et à atteindre le niveau de la fondation de la façade. Il faut donc déblayer tout en portant attention au maintien de la façade si la terre n'est pas extraite par tranche. Une fois l'isolant placé, un remblai est effectué.

<sup>43</sup> Il faut entendre par « de nature structurelle » la transmission des charges.

## 4.8 BALCON

Qu'ils soient existants ou nouveaux, les balcons doivent laisser passer l'isolant quand celui-ci est posé à l'extérieur. Il faut ainsi désolidariser les nouveaux balcons pour assurer sa continuité. Leurs charges sont dès lors reprises par une structure autre que celle de la façade correspondante par exemple, un système de colonnes ou par un système de murs porteurs existants perpendiculaires à la façade (cas *Logement collectif semi-mitoyen* | *Etterbeek*).

Ce principe est applicable au dalle de sol continue entre l'intérieur et l'extérieur de l'habitation (porche, terrasse,...). Pour éviter tout pont thermique, il est fondamental de la couper à la limite de l'enveloppe. Dans le cas *Maison mitoyenne* | *Schaerbeek*, vu que la frontière (entre l'intérieur et l'extérieur) se trouve au-dessus d'une cave, les charges des deux dalles dès à présent coupées, doivent trouver des nouveaux points d'appui (Figure 29). Les deux parties de la dalle sont alors reprises par deux linteaux métalliques. Ils sont ancrés dans les murs porteurs qui transfèrent les charges aux fondations.

### IMPACTS STRUCTURELS

Pour chaque colonne, un pied de fondation doit être coulé. Pour l'autre système, les charges sont dirigées directement vers les fondations sans la mise en œuvre d'un dispositif structurel.

## 4.9 MUR PIGNON

Les considérations établies pour la paroi « Façade arrière » sont admises ici quand il s'agit de murs extérieurs. Par contre, il n'en est pas de même pour les murs mitoyens. Il faut distinguer deux situations :

- Si les habitations voisines sont occupées et chauffées, il n'est pas nécessaire d'isoler les murs mitoyens. Toutefois, isoler est une sécurité dans le cas où les maisons voisines seraient plus tard abandonnées ou à démolir. En passif, il s'avère qu'une épaisseur de 10 cm d'isolant est parfois ajoutée pour le cas où le voisin partirait pour de très longues vacances.
- Si les murs sont adjacents à des volumes non chauffés (des garages par exemple), il est impératif de les isoler et de les rendre étanche à l'air (freine-vapeur Intello). La difficulté et la performance énergétique dépend notamment du type de structure des planchers :
  - Gîtage portant de façade à façade par l'intermédiaire de murs porteurs ou de poutres (cas *Maison mitoyenne* | *Schaerbeek*). Si les planches le long du mur (revêtement) sont enlevées, les murs peuvent être isolés et rendus étanche à l'air de manière continue. La résistance thermique sera plus faible uniquement aux intersections poutres/mur mitoyen et/ou murs/mur mitoyen. En ce qui concerne les poutres, elles peuvent être emballées par la membrane Intello. Au niveau du mur porteur, nous pourrions imaginer de réaliser une saignée sur toute son épaisseur mais cette opération reviendrait à le désolidariser du mitoyen (qui lui aussi est porteur). Or, d'un point de vue stabilité, il est plus judicieux de les garder solidaires. Cette solution mériterait donc une étude approfondie par un bureau de stabilité.
  - Gîtage portant entre les murs mitoyens par l'intermédiaire de murs porteurs ou de poutres qui lui sont perpendiculaires. Les gîtes ne sont pas coupées car cette technique est trop compliquée à réaliser pour chacune d'elles. Toutefois, cette situation ne s'avère pas trop problématique d'un point de vue énergétique dans le cas *Maison mitoyenne* | *Eupen*. En effet, le gîtage s'appuie sur les murs mitoyens qui sont en contact avec des volumes voisins occupés et chauffés. Elles ont ainsi été complètement emballées avec le freine-vapeur. Si les volumes voisins n'étaient pas chauffés, il aurait fallu couper les gîtes. Or, malgré des recherches, aucun projet de rénovation ayant exécuté cette solution ou une alternative n'a été trouvé.

Précisons tout de même qu'il est peu fréquent de rencontrer des volumes chauffés adjacents à d'autres non chauffés et encore moins fréquent quand le volume non chauffé a la même hauteur que le bâtiment rénové (des garages par exemple).

### IMPACTS ÉNERGÉTIQUES

Lors d'un entretien avec Monsieur Forthomme du bureau énergétique BROUAE, il a abordé une problématique souvent insoupçonnée et rencontrée lors d'une isolation accrue du mur mitoyen. Il s'avère que cette problématique risque de se produire dans la maison située à Auderghem, déjà évoquée précédemment. Quand le propriétaire isole autour du nœud mur mitoyen/ façade (Figure 116), le pont thermique entre le voisin et l'extérieur est renforcé (variante 7b). De l'humidité pourrait dès lors apparaître

chez ce dernier. Les schémas en plan illustrent ce problème. Ils concernent ici le raccord mitoyen avec l'isolation par l'extérieur étudié à l'aide du logiciel Trisco. Sur le schéma de gauche, le pont thermique est présent dans les deux maisons car l'isolation intérieure est absente. Par contre, le schéma de droite montre que le pont thermique de la maison en rénovation est affaibli contrairement à celui du voisin. Ce dernier est même renforcé car nous pouvons remarquer que les lignes de flux des faibles températures (en vert et en bleu) sont plus larges !

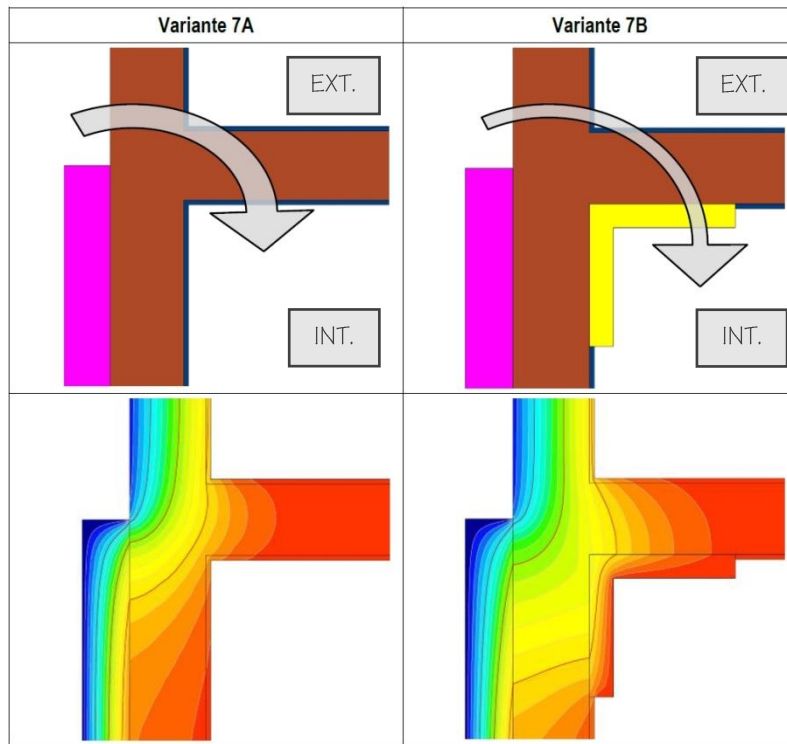


Figure 116 - Raccord mitoyen avec l'isolation par l'extérieur (Source : Goetghebuer T.)

Cependant, le long des murs mitoyens, le voisin en tire plus de profit que le maître d'ouvrage ce qui est plutôt injuste pour ce dernier. En effet, en plus d'avoir son mur isolé, il conserve l'inertie du mur qui permet d'accumuler de la fraîcheur en été et de la chaleur en hiver! La maçonnerie épaisse en briques ou en moellons est généralement caractérisée par une bonne inertie thermique.

## 4.10 ANNEXES

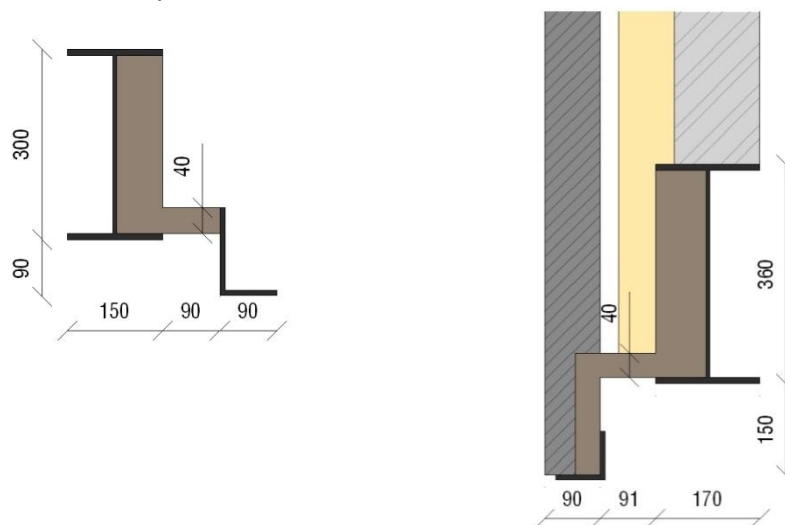
Les annexes appartenant au bâti ancien sont en général sous-dimensionnées. De plus, les années passant, certaines aboutissent à un ensemble hétéroclite dont le souhait du maître d'ouvrage est de le simplifier. C'est pourquoi, il est préférable de la/les démolir et de la/les remplacer par une nouvelle qui correspond aux besoins d'espace actuels.

La composition de ses parois est diverse. Par ailleurs, les cas apportent des solutions mais ces dernières sont non exhaustives : structure en FJI (*Maison mitoyenne | Schaerbeek* et *Maison mitoyenne | Eupen*), nouvelle maçonnerie (*Bâtiment en zone protégée | Forest*), ossature en bois massif, toiture verte... En effet, s'agissant de nouvelle construction, elles offrent plus de liberté en terme de technique. Ce point n'est pas traité en profondeur car l'annexe concerne la construction et non la rénovation et n'entre donc pas dans le champ d'étude de ce travail.

## 4.11 OUVERTURES DES PAROIS EXTÉRIURES

Les baies de l'enveloppe présentent deux points particuliers auxquels il est important de prêter attention :

- Les cornières. Elles portent l'éventuel parement en briques en cas d'ouvertures dans les murs extérieurs. L'analyse de ces éléments a été abordée lors de l'entretien avec Monsieur Vita et son équipe du bureau d'études des constructions Imhotep Engineering. Ce point n'a pas encore été appliqué dans des projets de rénovation ou de construction car il est toujours « à l'étude ». La problématique est la suivante. Vu l'augmentation des épaisseurs d'isolant, il est nécessaire de réaliser le calcul de pattes de liaison entre les cornières et les poutrelles métalliques. Dans cette étude, le but était d'optimiser l'entre-distance entre les pattes et leur épaisseur. Cela permettra non seulement de diminuer le coût mais également des petits ponts thermiques. C'est ce que la figure et le tableau ci-dessous reprennent.



**Figure 117- Patte de liaison entre les cornières et les poutrelles métalliques**

Hauteur fixe : 40 mm  
 Porte-à-faux fixe : 90 mm  
 Epaisseur variable  
 Espacement variable

HAUTEUR DE BRIQUE	EPAISSEUR DU PLAT	ESPACEMENT DES PLATS
1 m	6 mm	60 cm
1 m	8 mm	80 cm
2 m	6 mm	30 cm
2 m	8 mm	40 cm
3 m	6 mm	20 cm
3 m	8 mm	25 cm

**Tableau 10 - Optimisation de l'entre-distance entre les pattes et leur épaisseur**

- Le châssis de fenêtre. Sa position préférentielle d'un point de vue énergétique est au milieu de l'épaisseur de l'isolant. Les retours d'isolant seront dès lors réalisés dans la continuité de l'isolation du mur, diminuant ainsi le pont thermique. M. Opdebeeck du bureau d'architecture Modelmo, m'a quantifié ces propos : un mauvais positionnement du châssis peut entraîner une perte d'économie d'énergie consommée jusqu'à 3 kWh sur les 15 économisés s'il avait été correctement placé !



## 4.12 COHÉRENCES ENTRE LES SOLUTIONS CHOISIES

Ce bilan est un outil d'aide à la rénovation au stade de l'avant-projet. Il permet d'avoir les solutions possibles pour chaque paroi. Mais cela ne suffit pas toujours pour que le projet atteigne la performance énergétique choisie. En effet, il est indispensable qu'elles soient compatibles entre elles. Prenons un exemple : en amont du projet, le maître d'ouvrage émet ses souhaits : il désire que sa maison une fois rénovée soit passive. De plus, il aimerait isoler les murs par l'extérieur et conserver la toiture (donc l'isoler par l'intérieur) pour différentes raisons : elle est en bon état, il ne souhaite pas agrandir le volume ou tout simplement pour des questions financières. Or, ces choix ne sont pas compatibles. En effet, si le nœud n'est pas étudié, exécuter ces travaux entraînerait des ponts thermiques entre la toiture et le mur extérieur car l'isolant n'est pas continu. Ainsi, il n'est pas possible d'atteindre le standard passif vu que ce dernier requiert une enveloppe continue, isolée et étanche à l'air. Toutefois, une solution serait d'envisager une toiture sarking où seule la couverture est démontée afin d'isoler et de placer l'étanchéité à l'eau.

La difficulté à atteindre le passif dépend de la variable « physique » et plus précisément de la superficie totale du bâtiment. Plus elle est faible, plus la difficulté augmente. Ce constat est visible dans les études de cas. Pour rappel, quatre parmi les cinq projets ont atteint le standard passif. Nous pouvons remarquer que les isolants des murs extérieurs ont des épaisseurs moins importantes pour deux des cinq projets : les bureaux du CPAS et la maison de maître divisée en appartements à Etterbeek.

PROJET DE RÉNOVATION	ÉPAISSEURS DE L'ISOLATION DES MURS EXTÉRIEURS, EN [CM]
Bureaux du CPAS	De 10 à 20
Appartements (Etterbeek)	De 10 à 30 <sup>44</sup>
Les trois autres cas (maisons)	De 30 à 40 <sup>45</sup>

Tableau 11 - Épaisseurs de l'isolation variant suivant les projets de rénovation

Pour quelles raisons les épaisseurs varient-elles à ce point en fonction de la superficie du bâtiment ? Tout d'abord, parce que la rénovation du CPAS a atteint le niveau très basse énergie. Ensuite, ces épaisseurs dépendent du rapport entre la surface de l'enveloppe isolée et la surface totale des niveaux<sup>46</sup>. Plus le rapport est grand, plus importantes sont les surfaces de déperdition, plus l'épaisseur d'isolant doit augmenter pour atteindre une performance énergétique élevée. Calculons le rapport pour les trois cas :

<sup>44</sup> L'isolant utilisé dans ce cas pour la façade avant (mousse résolique) a une conductivité thermique plus faible (0,03 W/mK) que la cellulose et la fibre de bois (utilisées dans les trois autres cas), 0,04 W/mK. Mais elle n'explique pas pour autant l'importante variation d'épaisseur (13 cm pour le premier et 30 cm pour le second).

<sup>45</sup> La maison située à Eupen a ses murs extérieurs isolés avec seulement 24 cm d'épaisseur. Cette valeur est sans doute la conséquence d'un mur épais en moellons (50 cm).

<sup>46</sup> Plus précisément, elles dépendent du rapport entre le volume protégé et les surfaces de déperdition de l'enveloppe. Il s'agit de la compacité. Plus elle est grande, plus faibles seront les pertes d'énergie et moins sévères seront les exigences en terme d'isolation. Dans la suite, nous ne parlerons pas de volume protégé mais de superficie totale de l'enveloppe.

PROJET DE RÉNOVATION	RAPPORT S_ENVELOPPE/S_TOTALE
Bureaux du CPAS	0,74
Appartements (Etterbeek)	0,92
Les trois autres cas (maisons)	1,15

**Tableau 12 - Rapport entre la surface de déperdition et la superficie totale**

Les résultats sont en accord avec la théorie avancée : plus le rapport est grand, plus l'épaisseur de l'isolant est élevée.

Ainsi, d'après Monsieur Opdebeek, vouloir atteindre le standard passif n'est pas compatible avec un bâtiment quatre façades dont la surface totale des niveaux est inférieure à environ 150 m<sup>2</sup>.

## 4.13 CONCLUSION

La rénovation énergétique implique d'importants travaux, principalement quand elle concerne une maison non isolée et donc énergivore. L'intervention structurelle la plus lourde est sans nul doute celle impliquant la façade avant : la découpe des planchers pour éviter tout pont thermique et atteindre ainsi le standard passif. La question à se poser est : pour le passif, vaut-il la peine de donner tant d'efforts pour y arriver ? Malgré les primes, ce type de rénovation a un coût relativement élevé. De plus, une autre difficulté relevée lors de la rencontre des architectes est de trouver des entrepreneurs compétents car peu sont qualifiés dans le domaine. Ils ont tous été unanimes : il est important de s'entourer des bonnes personnes tant au niveau bureau de stabilité et d'étude énergétique que main-d'œuvre. Pour rappel, l'architecte, M. Draps, a changé d'entrepreneur après avoir décidé de l'orientation de la rénovation vers le passif. C'est pourquoi M. Alexandre, pour la rénovation de sa maison, a fait appel à des artisans, exécutant ainsi les travaux avec minutiosité. De plus, comme il a déjà été dit auparavant, il s'agit d'un travail neuf en Belgique. Nous sommes toujours dans l'expérimentation structurelle et énergétique. Il faut donc observer l'évolution de ces bâtiments.

Nous pouvons également remarquer que les rénovations passives sont peu répandues. La plupart des cas sont des projets dont les maîtres d'ouvrage sont les architectes eux-mêmes (pour les bâtiments résidentiels) ou faisant office de projet pilote tel le CPAS de Forest. Cette observation s'explique sûrement par le fait que ces derniers sont plus sensibles à ce type de rénovation et qu'ils font partie des intervenants.

Toutefois, les architectes rencontrés, à l'origine de rénovations basse énergie sont sceptiques : ils pensent que rénover en passif exige des travaux trop lourds, coûteux et nécessitant une main-d'œuvre qualifiée. Pour eux, transformer un bâtiment ancien énergivore en un de type basse énergie est déjà une victoire ! Notons aussi que le coût n'est pas prêt de diminuer étant donné qu'à partir de janvier 2012, les déductions fiscales relatives à ces rénovations ont été supprimées.

Enfin, les matériaux utilisés sont généralement respectueux de l'environnement. Quand certains le sont moins, les intervenants se tournent tout de même vers ceux ayant une empreinte écologique moins importante (isolants synthétiques sans CFC ou HCFC, par exemple).

## 5 SUJETS CONTROVERSÉS

---

Ce point aborde brièvement deux sujets sensibles de la rénovation : la résistance sismique et le risque d'incendie.

### 5.1 RÉSISTANCE SISMIQUE

La résistance sismique de bâtiments est rarement contrôlée quand elle concerne le petit résidentiel, surtout quand celui-ci est implanté dans une zone de sismicité faible. Les interviews ont renforcé ce constat ; à la question « La résistance sismique du bâtiment a-t-elle été examinée ? », la réponse est négative en justifiant que la Belgique n'est pas une zone à risque. Or, trente années auparavant, le tremblement de terre de 1983 a prouvé le contraire. Les dégâts touchaient principalement les bâtiments en maçonnerie portante. Des fissures étaient telles que certaines parties d'habitations se sont effondrées. [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

Les rénovations analysées dans ce travail ainsi que la plupart des bâtiments énergivores à rénover sont constituées de parois en maçonnerie pleine. Elles appartiennent donc à ce système constructif qui pose problème lors d'un tremblement de terre. Ce risque accru de fissures, voire d'effondrement provient du manque d'accrochage des planchers en bois dans la façade. La secousse sismique engendre notamment des forces horizontales<sup>47</sup> ; ces dernières sont à l'origine du déchaussement des planchers. Un disfonctionnement global du système est donc observé. Ce risque est diminué dans les cas de rénovation étudiés. En effet, lors de l'isolation par l'intérieur de la façade à rue, les cas étudiés ont montré que les planchers sont fixés à la double structure ; le manque d'accrochage est donc résolu. Il est donc important d'assurer une bonne connexion entre les éléments. C'est notamment pourquoi la façade désolidarisée est ancrée ponctuellement à la nouvelle structure. [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

L'apparition de fissures résulte également de la masse lourde des planchers appliquée à la façade et descendue jusqu'aux fondations. Cette dernière est soumise à cisaillement ; or quand la maçonnerie travaille en traction, elle entraîne des fissures. Le bâtiment oscille donc par rapport à sa base suite aux mouvements du sol. Vu que le séisme produit une force horizontale dans un sens puis dans l'autre, les fissures apparaissent également une fois dans un sens et une fois dans l'autre. Après un tremblement de terre, il n'est donc pas rare d'apercevoir des habitations dont les fissures sont en forme de croix. [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

L'augmentation des dimensions des baies vitrées pour profiter de l'apport solaire n'arrange en rien la situation face à une secousse. En effet, plus un niveau est vitré, moins il a de chance de rester debout après cette catastrophe naturelle. Il faut donc équilibrer la balance entre le gain d'énergie et la sécurité.

Afin de prévenir des conséquences d'un séisme, l'Eurocode 8 propose des règles constructives pour les structures en maçonnerie portante ; elles sont fonction du niveau de sismicité. En Belgique, il varie d'un niveau très faible à modéré c'est-à-dire d'une sismicité négligeable à des prescriptions complètes à respecter impérativement. Ce niveau dépend de l'accélération du sol au niveau du rocher sous-jacent pour un bâtiment d'importance  $\gamma_I$  et du type de sol. [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

---

<sup>47</sup> Elle engendre également des forces verticales mais ce ne sont pas ces dernières qui provoquent les effets les plus dommageables.

Selon l'Eurocode 8, les bâtiments simples en maçonnerie non armée<sup>48</sup> ne font pas l'objet de calcul de stabilité. Ils doivent uniquement vérifier des règles simples basées sur les vues en plan de ces derniers. Ces règles concernent : [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

- La régularité en plan
- Des exigences géométriques des murs de la structure primaire
- La disposition des murs de contreventement
- L'épaisseur des murs de contreventement

Pour ce type de bâtiment, la vérification par cette méthode sécuritaire est ainsi aisée. En ce qui concerne les autres bâtiments, des calculs de sollicitation peuvent être réalisés. Toutefois, il est préférable, pour ce qui est du contexte sismique, de respecter des principes de conception davantage détaillés par rapport à ceux cités plus haut. [Barszez A-M. et al.] [Plumier A.]

## 5.2 RISQUE D'INCENDIE

Un incendie est généralement perçu par la population comme étant plus dangereux dans une habitation passive. Une étude menée en collaboration avec la Direction des Risques Accidentels de l'ISSEP prouve que ce n'est pas le cas. L'importante isolation et l'étanchéité à l'air des bâtiments passifs n'ont pas une influence majeure sur l'évolution de l'incendie. [Brohez S., 2011]

Pendant la première phase, l'incendie consomme l'oxygène à l'intérieur du bâtiment induisant une montée en puissance de ce dernier. Ensuite, dans la seconde phase, l'oxygène commence à manquer ; la puissance de l'incendie s'amointrit et le feu s'étouffe petit à petit. Cet effet est d'autant plus important que l'étanchéité à l'air du bâtiment est grande. Ainsi, dans les habitations passives, la température des fumées est limitée ; par contre, une concentration plus élevée en monoxyde de carbone et en gaz imbrûlés est observée vu qu'ils ne savent pas s'évacuer. Le confinement de l'incendie et la production de ces gaz renforcent le danger de voir apparaître le phénomène de backdraft après une ouverture du bâtiment. [Brohez S., 2011]

L'isolation n'a pas de conséquence sur l'évolution des fumées en terme de température et de composition quand un incendie débute. En effet, l'isolant étant situé derrière une couche de finition, les occupants ont le temps d'être évacués avant que le front de chaleur atteigne celui-ci. L'épaisseur d'isolant n'influence donc pas la propagation du feu. Cependant, lors de l'intervention des services d'incendie, cette explication n'est plus de circonstance : le front de chaleur aura atteint l'isolation, ce qui augmente fortement la température des fumées à l'intérieur du bâtiment. [Brohez S., 2011]

---

<sup>48</sup> Les cas étudiés en font partie.

Habiter

Environnement

Objectifs

**Rénovation**

**INTRODUCTION**

---

Enjeux

Climat

**Société**

Défi

**ETAT DES LIEUX**

---

Maçonnerie

Etanchéité

Détails

**Isolation**

**ANALYSE DE CAS**

---

Standard

**Impacts**

Structure

Intentions

**BILAN DE L'ANALYSE**

---

Conception

Coût

**Outil**

Non résidentiel

**CONCLUSION & PERSPECTIVES**

---

## CONCLUSION & PERSPECTIVES

Le changement climatique incite notre société à rénover le parc immobilier existant. Caractérisés par une certaine ancienneté et par une consommation d'énergie primaire élevée, il est nécessaire de rénover dans un premier temps les bâtiments résidentiels.

En Belgique, les régions ont introduit, dans leur législation respective, les exigences établies par la directive européenne relative à la performance énergétique des bâtiments (PEB). Outre cette réglementation, il existe des standards supérieurs en terme de performances énergétiques du bâtiment résidentiel à savoir les standards basse énergie, très basse énergie et passif.

Les rénovations énergétiques des bâtiments résidentiels sont peu nombreuses en Belgique. Trois raisons retiennent notre attention. La première concerne le coût des travaux. Il est notamment la conséquence d'un manque de main d'œuvre qualifiée dans le domaine. Le travail à exécuter est minutieux et influence les résultats obtenus après la rénovation. De plus, le coût n'est pas prêt de diminuer vu que depuis janvier 2012, des aides financières ont été supprimées.

La deuxième raison suggère la peur des travaux, expliquée notamment par le manque de connaissance. Elle est particulièrement présente au niveau des propriétaires n'appartenant pas ou n'étant pas passionné par ce milieu de la rénovation énergétique. Par ailleurs, les maîtres d'ouvrage de celle-ci, orientée vers le passif font partie des intervenants du projet, l'architecte par exemple.

Enfin, la dernière explication concerne la nouveauté de ces études en Belgique. Il n'existe pas (encore) une seule solution exemplaire qui peut être appliquée à tous les bâtiments résidentiels à rénover. De plus, les rénovations énergétiques impliquent des interventions structurelles dont il faut connaître l'existence auquel cas nous courons à la catastrophe. Or, jusqu'à présent, ces dernières n'ont jamais été traitées dans un ouvrage ou dans un article, contrairement aux techniques énergétiques afin d'atteindre une performance élevée.

Il est donc intéressant de promouvoir ces rénovations en adoptant un outil d'aide à la rénovation qui permet de se rendre compte des enjeux structurels dès l'avant-projet. Aucune documentation existante, des interviews sont alors réalisées ; des projets déjà rénovés ou en cours de rénovation sont analysés. Ils permettent d'effectuer ensuite une analyse croisée : le bilan des interventions structurelles pour chacune des parois de l'enveloppe du bâtiment. La rénovation énergétique choisie initialement a des conséquences directes sur ces interventions.

L'intervention structurelle la plus importante concerne celle de la façade côté rue. Il s'agit de la désolidarisation du plancher de la façade. L'isolation thermique et l'étanchéité à l'air sont ainsi continues. Elle peut être évitée mais la performance atteinte sera le standard basse énergie ou très basse énergie. En effet, le standard passif exige la suppression de tous les ponts thermiques.

Les interventions structurelles ont des impacts tant au niveau de la structure que de la physique du bâtiment. L'impact structurel le plus conséquent survient dans la rénovation passive. Il s'agit de la reprise, jusqu'aux fondations, des nouvelles charges excentrées induites par les interventions. Par ailleurs, la façade désolidarisée reste stable par son poids propre élevé et par des ancrages métalliques au droit des planchers coupés.



L'impact énergétique résulte de la condensation, une fois l'isolant placé à l'intérieur. Elle peut être gérée par la mise en place d'une membrane freine-vapeur. Toutefois, il est préférable de s'assurer à l'aide d'un logiciel que la condensation ne sera pas préjudiciable. Cette technique entraîne la perte de l'inertie apportée par la masse de la maçonnerie pleine.

La consommation en énergie de chauffage d'un bâtiment passif est diminuée de moitié par rapport à un standard très basse énergie. Malgré cette économie, le prix, le temps de retour de l'investissement de départ et les difficultés rencontrées sont élevés. Ces constats mènent à la question suivante : le passif est-il pertinent dans des rénovations de bâtiments très énergivores ? Il serait peut-être préférable de le consacrer uniquement aux constructions neuves. La réponse des architectes est partagée mais ceux qui sont pour les rénovations passives, conçoivent qu'elles ne sont pas à la portée de tout le monde et de tous les bâtiments. Pour promouvoir ces rénovations, davantage de primes et d'informations sur le domaine structurel devraient être mises à disposition. Des entrepreneurs plus nombreux compétant dans le domaine entraîneraient une compétitivité des prix et non un monopole sur le marché.

Il serait envisageable, par la suite, afin de compléter cette étude, de l'étendre à l'ensemble du parc immobilier existant, à savoir des bâtiments abritant différents équipements/infrastructures (écoles, bureaux,...). La résistance sismique et le comportement au feu de ces bâtiments sont des points qui devront davantage être analysés.

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 - Projections du réchauffement climatique pour le 21 <sup>e</sup> siècle (Source: Le portail de la science).....	5
Figure 2 - Directive européenne 2002/91/EG votée le 16/12/2002.....	7
Figure 3 - Répartition de la consommation totale d'énergie primaire, unité en million de bep, barils d'équivalent pétrole (Source: McKinsey & Company, 2009) .....	9
Figure 4 - Contribution des principaux secteurs aux émissions de gaz à effet de serre en Belgique en 2006 (Source : Conseil Central de l'Economie, 2009).....	10
Figure 5 - Historique des réglementations énergétiques des bâtiments en Belgique (Sources : Spies N., 2010).....	17
Figure 6 – Démarche intégrée d'un projet de rénovation lourde (Figure réalisée par l'auteur depuis la source : Guerriat A., 2008).....	28
Figure 7 – Champ de l'étude .....	30
Figure 8 – Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau FHW, 2007) .....	36
Figure 9 – Plan du 1 <sup>er</sup> étage (Source : Bureau FHW, 2007).....	36
Figure 10 – Plan du 2 <sup>e</sup> étage (Source : Bureau FHW, 2007) .....	36
Figure 11 – Coupe (Source : Bureau FHW, 2007) .....	36
Figure 12 - Plan schématique de la structure générale des planchers, mesures en [m] .....	37
Figure 13- Détail de l'isolation par l'intérieur de la façade avant, mesures en [mm].....	39
Figure 14- Détail de la poutre coupée pour l'isolation de la façade avant, mesures en [mm] .....	40
Figure 15- Détail du raccord entre le plancher rez-de-chaussée et le mur de la façade avant, mesures en [mm] .....	41
Figure 16- Détail de la toiture en pente du bâtiment principal, mesures en [mm].....	42
Figure 17- Détail de la rehausse de la façade avant, mesures en [mm].....	42
Figure 18- Détail de la rehausse de la façade avant, mesures en [mm].....	43
Figure 19- Détail du plancher de l'annexe, mesures en [mm] .....	43
Figure 20- Détail du plancher de l'annexe, mesures en [mm] .....	43
Figure 21 - Descente de charges de la façade à rue avant rénovation .....	44
Figure 22 - Descente de charges de la façade à rue après rénovation.....	45
Figure 23 – Phasage des travaux de rénovation (Source : Bourgeois et al, 2010.) .....	48
Figure 24 – Plans du sous-sol et du rez-de-chaussée, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011).....	49
Figure 25 – Plans du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>e</sup> étage, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011) .....	50
Figure 26 – Coupe A-A, mesures en [m] (Source : Alexandre O., 2011).....	51
Figure 27 – Plan schématique de la structure du plancher du 1 <sup>er</sup> étage, mesures en [m].....	52
Figure 28 - Plan schématique de la structure du plancher du rez-de-chaussée, mesures en [m] .....	54
Figure 29 - Détail de la dalle en béton coupée, mesures en [mm] (Source : Alexandre O., 2011) .....	56
Figure 30 - Détail de la toiture verte de l'annexe, mesures en [mm].....	57
Figure 31 - Détail de la façade de l'annexe, mesures en [mm].....	57
Figure 32 - Détail de la façade arrière au 1 <sup>er</sup> étage, mesures en [mm].....	58
Figure 33 - Détail de la façade arrière au 2 <sup>e</sup> étage, mesures en [mm] .....	58
Figure 34 - Détail en coupe de la façade avant, mesures en [mm].....	60
Figure 35 – Détail en plan de la façade avant, mesures en [mm] .....	61
Figure 36 – Reprise de la double structure en cave, mesures en [mm].....	62
Figure 37 - Détail de la toiture à versant, mesures en [mm] .....	64
Figure 38 - Détail de l'isolation du mur mitoyen, mesures en [mm] .....	65

Figure 39 - Descentes de charges des murs mitoyens.....	66
Figure 40 - Descentes de charges du mur porteur et de la façade à rue.....	66
Figure 41 - Réaction de la poutre aux charges du plancher (coupe).....	67
Figure 42 - Moment de la poutre recomposée (coupe).....	67
Figure 43 - Cisaillement entre le plancher et la poutre (coupe) .....	67
Figure 44 - Compression de la structure FJI .....	68
Figure 45 – Vue générale du bâtiment (Source : IBGE, 2007) .....	69
Figure 46 - Implantation (Source: Bureau Modelmo, 2010) .....	69
Figure 47 – Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	71
Figure 48 – Plan du 1 <sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010).....	71
Figure 49 – Plan du 2 <sup>e</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	72
Figure 50 – Coupe transversale BB (Source : Bureau Modelmo, 2010).....	72
Figure 51 – Coupe transversale CC (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	72
Figure 52 - Plan schématique de la structure générale des planchers du 1 <sup>er</sup> et du 2 <sup>e</sup> étage, mesures en [m]	73
Figure 53 - Détail des parois mitoyennes, mesures en [mm].....	74
Figure 54 – Détail du plancher du 1 <sup>er</sup> étage, mesures en [mm].....	75
Figure 55 – Détail de la toiture, mesures en [mm].....	75
Figure 56 - Coupe schématique de la situation existante (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	76
Figure 57 – Plan & coupe détail des pilastres et des fondations, mesures en [cm] (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	77
Figure 58 – Plan & coupe détail de la structure du plancher, 1 <sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010) ..	78
Figure 59 – Plan détail de la structure du mur, 1 <sup>er</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	79
Figure 60 – Plan & coupe détail de la structure du plancher, 2 <sup>e</sup> étage (Figure réalisée par l’auteur depuis la source : Bureau Modelmo, 2010).....	80
Figure 61 – Plan détail de la structure du mur, 2 <sup>e</sup> étage (Source : Bureau Modelmo, 2010).....	81
Figure 62 – Plan détail de la structure de la toiture (Source : Bureau Modelmo, 2010) .....	81
Figure 63 - Charges ponctuelles sur les colonnes de la cave.....	82
Figure 64 – Implantation (Source : Draps E., 2010) .....	84
Figure 65 - Plan du rez-de-chaussée (Source : Draps E., 2010).....	85
Figure 66 - Plan du 1 <sup>er</sup> étage (Source : Draps E., 2010) .....	85
Figure 67 - Plan des 2 <sup>e</sup> et 3 <sup>e</sup> étages (Source : Draps E., 2010).....	85
Figure 68 - Plan du 4 <sup>e</sup> étage (Source : Draps E., 2010).....	85
Figure 69 - Plan du 5 <sup>e</sup> étage (Source : Draps E., 2010).....	86
Figure 70 – Coupe (Source : Draps E., 2010) .....	86
Figure 71 - Schéma du système porteur du bâtiment.....	87
Figure 72 - Trace schématique de la coupe .....	87
Figure 73- Détail de l’isolation de la dalle de sol, mesures en [mm].....	88
Figure 74 - Détail de l’isolation par l’intérieur de la façade avant au droit du plancher, mesures en [mm]....	88
Figure 75 - Sens de portée du plancher (Source : Draps E., 2010) .....	89
Figure 76 - Détail de l’isolation par l’intérieur de la façade avant au droit du plancher, mesures en [mm]....	90
Figure 77 - Sens de portée du balcon (Source : Draps E., 2010).....	91
Figure 78 - Détail de l’isolation par l’extérieur de la façade arrière, mesures en [mm].....	91
Figure 79 - Détail de l’isolation de la toiture et de la façade latérale, mesures en [mm] .....	93
Figure 80 - Sens de portée des poutres FJI et des gîtes en toiture (Source : Draps E., 2010) .....	93
Figure 81 - Descente de charge, mur mitoyen .....	94

Figure 82 - Descente de charge, façade et mur porteur.....	94
Figure 83 – Implantation du CPAS (Source : Bureau A2M, 2011) .....	95
Figure 84 - Night-cooling naturel (Source: Bureau A2M,2011) .....	96
Figure 85 - Plan du sous-sol (Source : Bureau A2M, 2011) .....	97
Figure 86 - Plan du rez-de-chaussée (Source : Bureau A2M, 2011) .....	97
Figure 87 - Plan du 1er étage (Source : Bureau A2M, 2011) .....	97
Figure 88 - Plan du 2e étage (Source : Bureau A2M, 2011) .....	97
Figure 89 - Plan du local technique et du toit (Source : Bureau A2M, 2011) .....	97
Figure 90 - Coupe parallèle à la rue Vanpé (Source : Bureau A2M, 2011).....	97
Figure 91 – Ajout d’un niveau (Source : Bureau A2M).....	99
Figure 92 - Plan de stabilité, fondations (Source: Bureau JZH & Partners, 2010) .....	100
Figure 93 - Plan de stabilité, haut sous-sol (Source: Bureau JZH & Partners, 2010).....	100
Figure 94 - Plan de stabilité, haut rez-de-chaussée (Source: Bureau JZH & Partners, 2010).....	101
Figure 95 - Plan de stabilité, haut 1 <sup>er</sup> étage (Source: Bureau JZH & Partners, 2010).....	101
Figure 96 - Plan de stabilité, haut 2 <sup>e</sup> étage (Source: Bureau JZH & Partners, 2010) .....	102
Figure 97 - Plan de stabilité, haut espace technique (Source: Bureau JZH & Partners, 2010) .....	102
Figure 98- Détail de l’isolation par l’intérieur de la façade avant au droit du plancher du 1 <sup>er</sup> étage, mesures en [mm] .....	105
Figure 99 - Détail de l’isolation par l’intérieur de la façade avant au droit du plancher du rez-de-chaussée, mesures en [mm].....	105
Figure 100 - Extrait de coupe, façade rue de Liège.....	106
Figure 101 - Détail de la façade arrière, mesures en [mm] .....	106
Figure 102 - Détail des parois contre mur mitoyen de l’annexe, mesures en [mm].....	107
Figure 103 - Détail des parois contre mur de soubassement de l’annexe, mesures en [mm] .....	108
Figure 104 - Détail des parois du niveau ajouté côté rue, mesures en [mm] .....	109
Figure 105 - Détail des parois du niveau ajouté côté annexe, mesures en [mm] .....	110
Figure 106 - Détail de la toiture principale, mesures en [mm].....	110
Figure 107 - Détail de la toiture principale, mesures en [mm].....	111
Figure 108 - Détail de la toiture de l’espace technique, mesures en [mm] .....	111
Figure 109 - Zone de la descente de charges.....	111
Figure 110 – Phase I d’un projet de rénovation   Variables de départ .....	115
Figure 111 - Phase II d’un projet de rénovation   Rénovation énergétique .....	117
Figure 112 - Thermographie aérienne de Bruxelles.....	119
Figure 113 - Poutre FJl soumise à flexion (à gauche).....	120
Figure 114 - Détail du renforcement de la toiture,.....	121
Figure 117 - Isolation par l’intérieur sans découpe des gîtes, mesures en [mm].....	130
Figure 115 - Raccord mitoyen avec l’isolation par l’extérieur (Source : Goetghebuer T.) .....	135
Figure 116- Patte de liaison entre les cornières et les poutrelles métalliques.....	136

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Valeur maximum des coefficients de transmission thermique U des parois (Source : Passiefhuisplatform, 2012).....	12
Tableau 2 – Réglementation PEB en région Bruxelles Capitale, wallonne et flamande (Tableau réalisé par l’auteur depuis la source : Guillemeau J-M. et al., 2010, de Meester T., 2009 .....	13
Tableau 3 – Scénario de consommation énergétique globale d’une maison unifamiliale 4 façades en Belgique (Source : Bourgeois M. et al., 2010) .....	15
Tableau 4 - Les vagues de construction successives (Source : Bourgeois M. et al., 2010).....	16
Tableau 5 - Primes à la rénovation en Région Bruxelles-Capitale (Source : Le Centre Urbain, 2012).....	19
Tableau 6 – Avantages et inconvénients des systèmes de ventilation (Source : Bourgeois M. et al., 2010).....	26
Tableau 7 - Evolution de la performance énergétique (Source: Bureau FHW, 2007) .....	38
Tableau 8 – Passeport environnemental : situation existante et situation prévue après la rénovation (Source : Article publié par Alexandre O., 2011.) .....	47
Tableau 9- Mise en évidence des constances du parc immobilier résidentiel à rénover .....	115
Tableau 10 - Optimisation de l’entre-distance entre les pattes et leur épaisseur.....	136
Tableau 11 - Epaisseurs de l’isolation variant suivant les projets de rénovation.....	137
Tableau 12 - Rapport entre la surface de déperdition et la superficie totale .....	138

## TABLE DES PHOTOS

Photo 1 – Façade côté rue après rénovation .....	34
Photo 2 – Façade côté jardin après rénovation .....	34
Photo 3 - Façade côté rue avant rénovation (Source : Bureau FHW, 2007).....	37
Photo 4 - Façade côté jardin avant rénovation (Source : Bureau FHW, 2007) .....	37
Photo 5 – Découpe des poutres (Source : Bureau FHW, 2007) .....	39
Photo 6 – Mise en place des colonnes sous les poutres coupées (Source : Bureau FHW, 2007) .....	39
Photo 7 - Gîtage emballé par le freine-vapeur (Source : Bureau FHW, 2007) .....	40
Photo 8 – Façade côté rue de la maison mitoyenne .....	46
Photo 9 – Paroi en maçonnerie pleine (Source : Alexandre O., 2011).....	52
Photo 10 – Plancher en bois sur solive (Source : Alexandre O., 2011).....	52
Photo 11 – Panne de toiture (Source : Alexandre O., 2011) .....	53
Photo 12 – Chevrons de la toiture (Source : Alexandre O., 2011).....	53
Photo 13 – Façade côté rue avant rénovation (Source : Alexandre O., 2011).....	53
Photo 14 - Façade côté jardin avant rénovation (Source : Alexandre O., 2011).....	53
Photo 15 – Démolition du carrelage stabilisé (Source : Alexandre O., 2011).....	54
Photo 16 – Mise en place de l’isolation (Source : Alexandre O., 2011).....	55
Photo 17 – Pose d’une étanchéité et des armatures (Source : Alexandre O., 2011).....	55
Photo 18 – Dalle de béton (Source : Alexandre O., 2011) .....	55
Photo 19 – Toiture verte intensive de l’annexe (Source : Alexandre O., 2011).....	56
Photo 20 – Structure de la toiture verte (Source : Alexandre O., 2011).....	56
Photo 21 - Ossature de la façade côté jardin (Source : Alexandre O., 2011) .....	59
Photo 22 - Façade arrière .....	59
Photo 23 - Découpe des têtes des solives (Source : Alexandre O., 2011).....	59
Photo 24 - Mise en place de la poutre recomposée et des supports en FJI (Source : Alexandre O., 2011)..	60

Photo 25 - Ossature en FJI du porche d'entrée (Source : Alexandre O., 2011) .....	61
Photo 26 – Contreventement de la façade (Source : Alexandre O., 2011) .....	61
Photo 27 - Linteau métallique HEA 200 .....	62
Photo 28 - Epinglage extérieur de la façade avant .....	62
Photo 29 - Epinglage intérieur de la façade avant .....	62
Photo 30 - Structure de la nouvelle charpente (Source : Alexandre O., 2011) .....	63
Photo 31 - Structure de la nouvelle charpente (Source : Alexandre O., 2011) .....	63
Photo 32 - Mise en place des panneaux en fibre de bois .....	64
Photo 33 - Enduit à l'argile des murs intérieurs .....	64
Photo 34 - Pose de l'ossature, de la membrane et du lattage (Source : Alexandre O., 2011) .....	65
Photo 35 - Chanvre posé dans lattage et contre-lattage (Source : Alexandre O., 2011) .....	65
Photo 36 – Façade côté rue de la maison mitoyenne .....	83
Photo 37 – Système poutres/entrevous .....	89
Photo 38 – Ancrage de la façade dans le plancher semi-préfabriqué .....	90
Photo 39 – Système poutres/entrevous .....	91
Photo 40 - Cornière inférieure et ancrage métallique du châssis .....	92
Photo 41 – Cornière supérieure du châssis .....	92
Photo 42 - Mise en place des deux poutres FJI .....	92
Photo 43 – Poutres FJI d'une toiture plate .....	93
Photo 44 – Façade côté rue de la maison mitoyenne (Source : Bureau A2M, 2011) .....	95
Photo 45 - Façade côté rue avant rénovation (Source : bureau A2M, 2011) .....	98
Photo 46 - Découpe de la dalle en béton (Source : Bureau A2M, 2011) .....	104
Photo 47 - Encoche dans la dalle en béton (Source : Bureau A2M, 2011) .....	104
Photo 48 - Ancrage de la façade à rue dans la dalle (Source : Bureau A2M, 2011) .....	104
Photo 49 - Remplissage de l'encoche par du béton (Source : Bureau A2M, 2011) .....	104
Photo 50 - Mise en œuvre des colonnes en béton armé (Source : Bureau A2M, 2011) .....	104
Photo 51 - Exécution des caissons en OSB remplis d'isolant en cellulose (Source : Bureau A2M, 2011) ..	104
Photo 52 - Renforcement de la toiture .....	121
Photo 53 - Membrane d'étanchéité à l'air autour des gîtes, projet en cours de rénovation à Auderghem ...	131



# ANNEXES

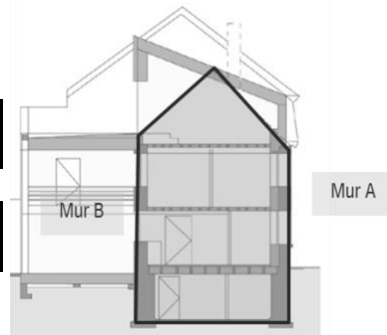
## A. Descentes de charges Maison mitoyenne | Eupen

Pour cette descente de charge de même que pour les autres, quand les charges sont en gras et sont coloriées en gris également, cela signifie que ce sont ces dernières que l'on additionnera lors de la descente de charge avec les coefficients.

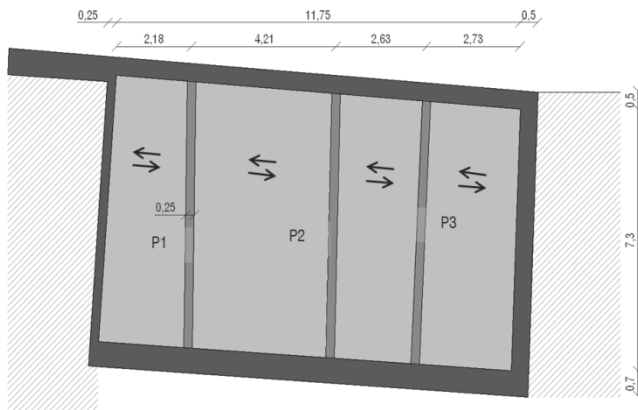
Dans cette descente de charges, l'annexe n'est pas prise en compte mais uniquement le volume principal.

### Descente de charges avant rénovation : les façades

MURS					
Formules: $PP = \rho * ep$ $P = PP * H$					
MUR FAÇADE AVANT	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	4,7	0,5	28000	14000	65800
Mur A	2800 kg/m <sup>3</sup>				
	H_cave [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,68	28000	19040	33320
	2800 kg/m <sup>3</sup>				
MUR FAÇADE ARRIERE	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	4,7	0,6	28000	16800	78960
Mur B	Normalement, l'épaisseur est de 0,7m 2800 kg/m <sup>3</sup> Mais il faut considerer 0,6 en moyenne car irrégularité du mur.				
	H_cave [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,75	28000	21000	36750
	2800 kg/m <sup>3</sup>				
PP	P_A [N/m]	P_B [N/m]			
MUR FAÇADE	<b>99120</b>	<b>115710</b>	N/ml		



PLANCHER R+2					
Au niveau des poutres, il existe des parties de murs porteurs mais hypothèse: des poutres partout et sur toute la longueur de 7,3 m.					
SOLIVE 120X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,12	0,06	0,4	90
	Formule: $P = Pvol * h * b / entraxe$				
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	15,4	9,81	151,074		
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P perm. [N/m <sup>2</sup> ]		TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION		s [N/m <sup>2</sup> ]
	<b>241,074</b>		<b>2000</b>		<b>2000</b>
N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>				
POUTRE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	L [m]	P [N/m]
	5000	0,25	0,2	7,3	250
CHARGES REPRISES PAR POUTRE	P1 [N/m]	P2 [N/m]	P3 [N/m]		
	1020,23	1074,47	896,07		
	6390	6840	5360		
N/m	(P perm. * L/2) + PP poutre (Exploitation)				



H poutre\_fondation [m] = 6,7

Tan 30° = 0,57735027

Avec un angle de 30° et une hauteur H (4,3m),  
la charge se répartit sur une longueur: 3,8682468

CHARGES  
PONCT  
SUR MUR  
DE FACADE  
N

P1 [N]	P2 [N]	P3 [N]
3723,84	3921,826742	3270,685
472	868	868
23323,5	24966	19564

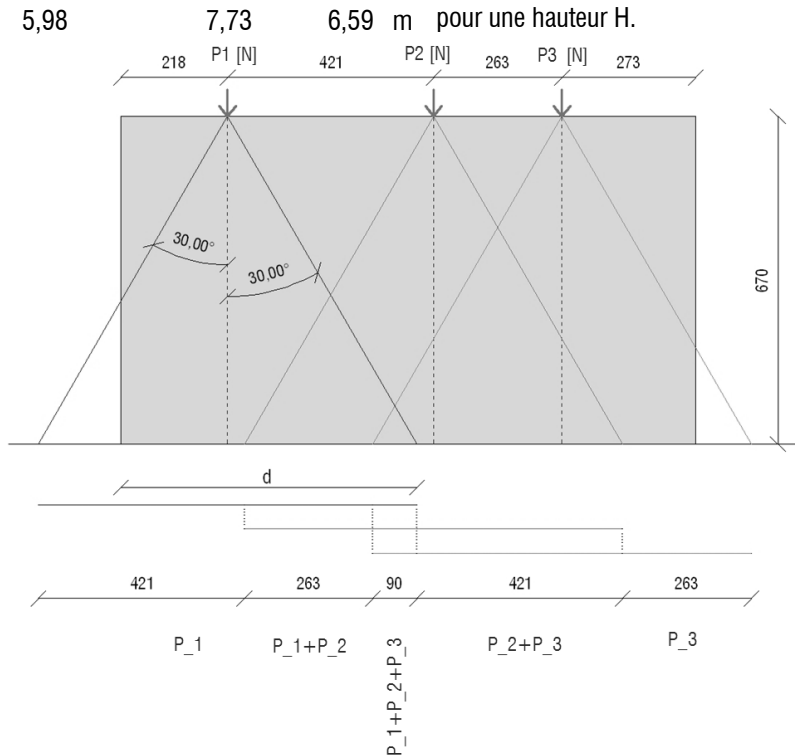
(Permanent)  
(Exploitation)

Formule: PL/2

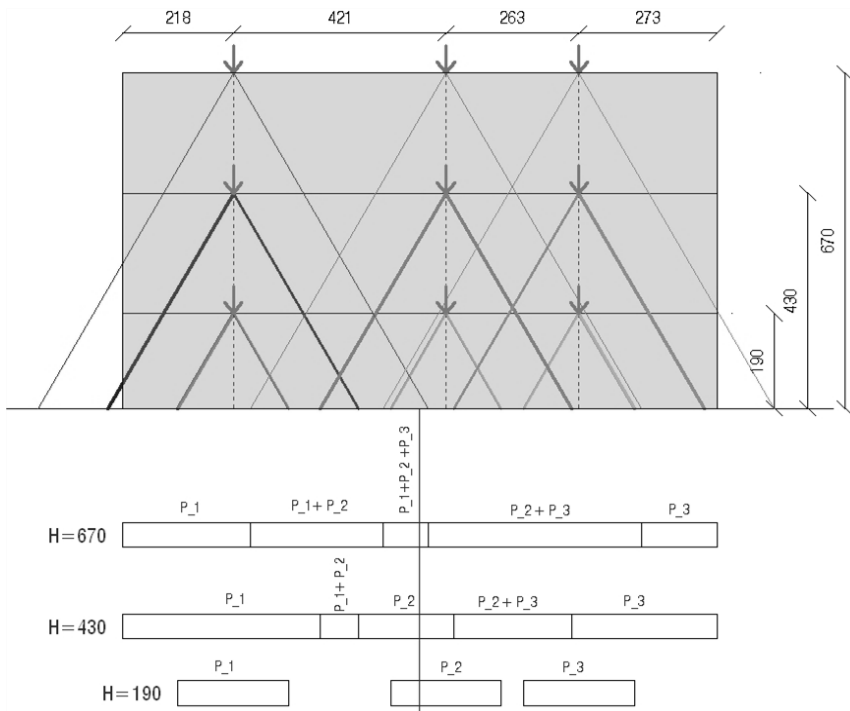
CHARGES  
PERM  
REPRISES  
SUR  
FONDATION  
[N/m]  
Charges  
réparties sur

P_1 [N/m]	P_2 [N/m]	P_3 [N/m]
622,06	506,92	495,69
3856,24	3227,04	2965,03

Les charges ponctuelles du plancher se diffusent dans la maçonnerie suivant un angle de 30° par rapport à la verticale. Elle se répartit donc sur une longueur totale de  $2 \cdot H \cdot \text{tg}30$ . La charge ponctuelle P devient ainsi une charge linéaire:  $P / (2 \cdot H \cdot \text{tg}30)$  Par contre, quand la charge est proche d'un mur (c'est la cas de P1 et de P3), elle se répartit sur une longueur d (voir schéma) pour une hauteur H.







**TOTAL PLANCHER**

La formule générale est donnée sur le schéma:  $P_1 + P_2 + P_3$  (pour  $H=670$ ) +  $P_2$  (pour  $H=430$ ) +  $P_2$  (pour  $H=190$ )

Cette charge est appliquée sur la longueur de la paroi.

CHARGES PLANCHERS	<b>P [N/m]</b>	
REPRISES	<b>4202,123053</b>	Perm.
SUR	<b>26456,07239</b>	Expl.
FONDATION [N/m]		
<b>FONDACTIONS</b>		
CHARGES TOTALES	<b>MUR A [N/m]</b>	<b>MUR B [N/m]</b>
SUR	<b>103322,1231</b>	<b>119912,1231</b>
FONDATION [N/m]	<b>26456,07239</b>	<b>26456,07239</b>
		Perm.
		Expl.

**DESCENTE DE CHARGES**

CHARGES SUR FONDATION	<b>Vent W</b>	0	N/ml	
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b> 0	N/ml	
	<b>G</b>	<b>Mur A</b> 103322,123	<b>Mur B</b> 119912,123	N/ml
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b> 26456,0724	<b>Mur B</b> 26456,0724	N/ml
	<b>GAMMA</b>	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b> 1,35	<b>Surcharge, neige et vent</b> 1,5

	<b>Vent W</b>	0	N/ml
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b> 0	N/ml
	<b>G</b>	<b>Mur A</b> 139484,866	<b>Mur B</b> 161881,366
<b>ELU</b>	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b> 39684,10	<b>Mur B</b> 39684,10
<b>COMBINAISON</b>		$\psi_0$	$\psi_1$
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5
	Neige S	0,5	0,2
	Vent W	0,6	0,2

		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	179168,975	201565,475
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	179168,975	201565,475
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	179168,975	201565,475

Remarque: L'action prise comme dominante est la surcharge d'exploitation et non la neige ou le vent car cette dernière a une valeur plus importante que les autres. Elle n'est donc pas affectée d'un coefficient  $\psi$ .

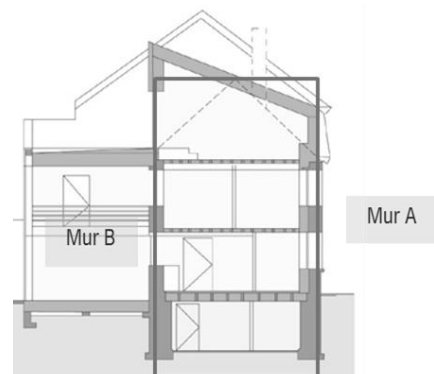
<b>ELS</b>	<b>COMBINAISON</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>
	<b>A. S dominante</b>	129778,195	146368,195
	<b>B. S dominante</b>	129778,195	146368,195
	<b>C. S dominante</b>	129778,195	146368,195

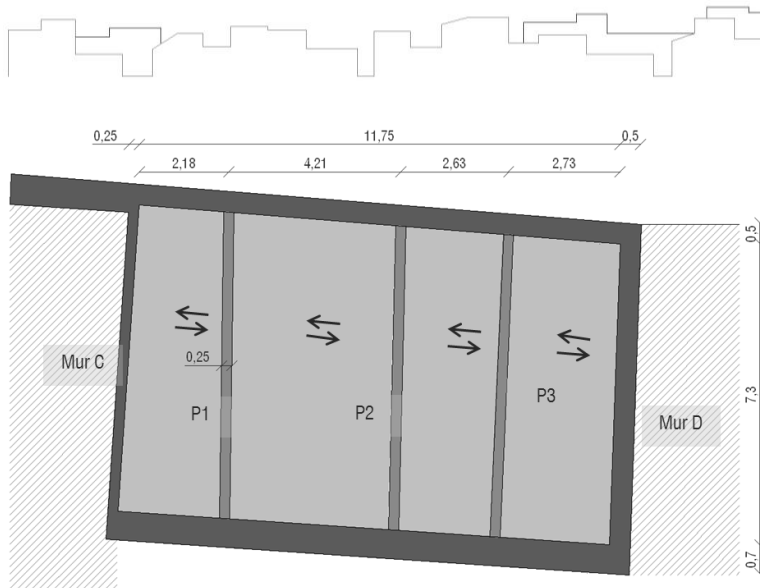
Ces valeurs élevées proviennent du PP des moellons.

### Descente de charges avant rénovation : les murs mitoyens

Hypothèse: calculer le poids du mur mitoyen suivant un rectangle (cadre bleu sur le schéma) et non l'association d'un rectangle et d'un triangle. Le poids est donc surestimé.

<b>MUR MITOYEN</b>	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
Mur C	7,6	0,25	28000	7000	53200
	H cave [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,4	28000	11200	19600
<b>MUR MITOYEN</b>	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
Mur D	7,6	0,5	28000	14000	106400
	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,65	28000	18200	31850
<b>PP mur faç.</b>	P C [N/m]	P D [N/m]			
	72800	138250	N/ml		





PLANCHER R+2 à R				
SOLIVE	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]
120X60mm	5000	0,12	0,06	0,4
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]	
	15,4	9,81	151,074	
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]		TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	241,074		N/m <sup>2</sup>	2000
CHARGES PERMANENTES REPRISES PAR MURS	Mur C [N/m]	Mur D [N/m]		
	<b>788,31198</b>	<b>987,19803</b>	*3 car trois planchers!	
	<b>6540</b>	<b>8190</b>		

TOITURE				
	600	600	Hypothèse: le poids de la toiture est de 600 N/m <sup>2</sup>	
CHARGES PERMANENTES REPRISES PAR MURS	Mur C [N/m]	Mur D [N/m]	SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ]
	<b>3750</b>	<b>3750</b>		L [m]
	<b>12500</b>	<b>12500</b>		2000
				12,5

## Calcul de vent

Hypothèses: négliger l'annexe

<b>Toiture - coefficient de pression extérieur</b>	
$\theta = 0^\circ$	alpha [°]
	42

Coefficient de pression intérieur		
Cp,i	qp	Wi
-0,5	701,02685	<b>-350,5134</b> N/m <sup>2</sup>
0,8	701,02685	<b>560,82148</b> N/m <sup>2</sup>

Vent :			
Vb	26,2 m/s	qm	207,924 N/m <sup>2</sup>
		$\rho$ air	1,25 Kg/m <sup>3</sup>
		Z	7,6 m
Vm	18,239 m/s	kr	0,215
		Z0	0,3 m
Cr	0,696	Zmin	5 m
CO	1	qp	701,026 N/m <sup>2</sup>
qb	429,025 N/m <sup>2</sup>	Ce	1,634 m

		Cp,e	qp	We	Wi	We-Wi	
<b>F</b>	30 42 45	X <sub>1</sub> = -0,1	701,02	<b>-70,10</b> N/m <sup>2</sup>	560,82	<b>-630,92</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,5 X <sub>1</sub> 0	X <sub>2</sub> = 0,7	701,02	<b>490,71</b> N/m <sup>2</sup>	-350,51	<b>841,23</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,7 X <sub>2</sub> 0,7						
<b>G</b>	30 42 45	X <sub>1</sub> = -0,1	701,02	<b>-70,10</b> N/m <sup>2</sup>	560,82	<b>-630,92</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,5 X <sub>1</sub> 0	X <sub>2</sub> = 0,7	701,02	<b>490,71</b> N/m <sup>2</sup>	-350,51	<b>841,23</b> N/m <sup>2</sup>	

	0,7	X_2	0,7								
<b>H</b>	30	42	45	X_1=	-0,04	701,02	<b>-28,04</b>	N/m <sup>2</sup>	560,82	<b>-588,86</b>	N/m <sup>2</sup>
	-0,2	X_1	0	X_2=	0,56	701,02	<b>392,57</b>	N/m <sup>2</sup>	-350,51	<b>743,08</b>	N/m <sup>2</sup>
	0,4	X_2	0,6								
<b>I</b>	30	42	45	X_1=	-0,24	701,02	<b>-168,24</b>	N/m <sup>2</sup>	560,82	<b>-729,06</b>	N/m <sup>2</sup>
	-0,4	X_1	-0,2	X_2=	0	701,02	<b>0</b>	N/m <sup>2</sup>	-350,51	<b>350,51</b>	N/m <sup>2</sup>
	0	X_2	0								
<b>J</b>	30	42	45	X_1=	-0,34	701,02	<b>-238,34</b>	N/m <sup>2</sup>	560,82	<b>-799,17</b>	N/m <sup>2</sup>
	-0,5	X_1	-0,3	X_2=	0	701,02	<b>0</b>	N/m <sup>2</sup>	-350,51	<b>350,51</b>	N/m <sup>2</sup>
	0	X_2	0								

	S m <sup>2</sup>	S_totale	
<b>S_F</b>	3,90625	106,25	-23,19
		106,25	30,92
<b>S_G</b>	7,8125	106,25	-46,39
		106,25	61,85
<b>S_H</b>	37,5	106,25	-207,83
		106,25	262,26
<b>S_I</b>	37,5	106,25	-257,31
		106,25	123,71
<b>S_J</b>	15,625	106,25	-117,52
		106,25	51,54
<b>We-Wi moyen</b>			-675,45 N/m <sup>2</sup>
			<b>561,23 N/m<sup>2</sup></b>

Alpha 42

VENT	Pression	Pr. Alpha	P de vent repris par chaque mitoyen
	561,23	755,21	<b>4720,09</b>
	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m

NEIGE	A [m]	Z	s_k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ_42°	C_e	C_t	s_n_1 [N/m <sup>2</sup> ]	P neige repris par chaque mitoyen [N/m]
	296	4,5	0,962	0,48	1	1	461,96	<b>2887,25</b>

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION

	<b>Vent W</b>	4720,09147	N/ml
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b>	N/ml
		2887,25466	
	<b>G</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b> N/ml
		77338,312	142987,198
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b> N/ml
		19040	20690
<b>GAMMA</b>	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>
		1,35	1,5
	<b>Vent W</b>	7080,13721	N/ml
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b>	N/ml
		4330,88199	
	<b>G</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b> N/ml
		104406,721	193032,717
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b> N/ml
		28560	31035



ELU		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
COMBINAISON	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		Mur C	Mur D	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	139380,244	230481,241	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	135248,925	226349,921	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	132966,721	224067,717	

ELS		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
COMBINAISON	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		Mur C	Mur D	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	100653,994	167952,88	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	97899,7812	165198,667	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	96378,312	163677,198	

**Descente de charges après rénovation : les façades**

TOITURE						
Ossature FJI	L [m]	b [m]	h [m]	alpha [°]	Entraxe [m]	P [N/m]
	7,9	0,058	0,36	22	0,6	41,9
Il s'agit de la portée entre les deux murs mitoyens						
ISOLANT	P vol [N/m³]	ép [m]	P [N/m²]			
CELLULOSE	500	0,36	180			
50 kg/m³						
SOUS TOITURE	P [N/m²]	EXPLOITATION		P [N/m²]		
CELIT 4D	59			2000		
COUVERTURE EN ZINC	P [N/m²]					
	250					

Calcul des charges amenées par les FJI sur le mur					
Ossature FJI (PP)	Pente [N/m²]				
N/m²	69,83333333				
TOTAL CHARGES PERMANENTES	Pente [N/m²]	TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	Pente [N/m²]	CHARGES LIN. DE TOITURE SUR MUR	Pente [N/m]
N/m²	558,8333333	N/m²	2000	FACADE	2207,39167
					7900 N/m

**Calcul du vent**

Hypothèses: négliger l'annexe

$\theta = 0^\circ$	<b>Toiture - coefficient de pression extérieur</b>
	alpha [°]
	22

Coefficient de pression intérieur		
Cp,i	qp	Wi
-0,5	734,4908	<b>-367,2454</b> N/m <sup>2</sup>
0,8	734,4908	<b>587,59264</b> N/m <sup>2</sup>

Vb	26,2 m/s	ρ air	1,25 Kg/m <sup>3</sup>
Vm	19,193 m/s	Z	9 m
Cr	0,732	kr	0,215
C0	1	Z0	0,3 m
qb	429,025 N/m <sup>2</sup>	Zmin	5 m
qm	230,247 N/m <sup>2</sup>	qp	734,490 N/m <sup>2</sup>
		Ce	1,712 m

	Cp,e				qp	We	Wi	We-Wi	
<b>F</b>	15	22	30	X_1=	-0,71333333	734,4908	<b>-523,9368</b> N/m <sup>2</sup>	587,59264	<b>-1111,529</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,9	X_1	-0,5	X_2=	0,43333333	734,4908	<b>318,27935</b> N/m <sup>2</sup>	-367,2454	<b>685,52475</b> N/m <sup>2</sup>
	0,2	X_2	0,7						
<b>G</b>	15	22	30	X_1=	-0,66	734,4908	<b>-484,7639</b> N/m <sup>2</sup>	587,59264	<b>-1072,357</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,8	X_1	-0,5	X_2=	0,43333333	734,4908	<b>318,27935</b> N/m <sup>2</sup>	-367,2454	<b>685,52475</b> N/m <sup>2</sup>
	0,2	X_2	0,7						
<b>H</b>	15	22	30	X_1=	-0,25333333	734,4908	<b>-186,071</b> N/m <sup>2</sup>	587,59264	<b>-773,6636</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,3	X_1	-0,2	X_2=	0,29333333	734,4908	<b>215,45063</b> N/m <sup>2</sup>	-367,2454	<b>582,69603</b> N/m <sup>2</sup>
	0,2	X_2	0,4						

	S m <sup>2</sup>	S totale	
<b>S_F</b>	3,4515	92,803	-41,33
		92,803	25,49
<b>S_G</b>	6,9	92,803	-79,73
		92,803	50,96
<b>S_H</b>	79	92,803	-658,59
		92,803	496,02
<b>We-Wi moyen</b>		-821,00	N/m <sup>2</sup>
		<b>597,99</b>	N/m <sup>2</sup>

Pression aérodynamique sur paroi (intérieur), formule :  $qp * C_{pi} = W_i$   
 Pression aérodynamique sur paroi (extérieur), formule :  $qp * C_{pe} = W_e$   
 (+) correspond à une surpression (flèche de l'intérieur vers l'extérieur)  
 (-) correspond à une dépression (flèche de l'extérieur vers l'intérieur)

Alpha 22			
VENT	Pression	Pr. Alpha	P de vent repris par chaque mitoyen
	597,99	644,95	<b>2547,56</b>
	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m

NEIGE	A [m]	Z	s k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ 22°	C e	C t	s n 1 [N/m <sup>2</sup> ]	P neige repris par chaque mitoyen [N/m]
	296	4,5	0,962	0,8	1	1	769,93	<b>3041,24</b>

**MURS**  
**Murs existants**

MUR FACADE AVANT	H [m]	ep [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	4,7	0,5	28000	14000	65800
Mur A	H cave [m]	ep [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,68	28000	19040	33320
MUR FACADE ARRIERE	H [m]	ep [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	4,7	0,6	28000	16800	78960
Mur B	H cave [m]	ep [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,75	28000	21000	36750

PP. MUR FACADE	P_A [N/m]	P_B [N/m]	
	<b>99120</b>	<b>115710</b>	N/ml

**Rehausse des murs**

Hypothèse: négliger le parement

FJI 240/58	P [N/ml]	H_A [m]	P [N]	Entraxe [m]	P_A [N/m]
	34,2	1,6	54,72	0,35	156,342857

	P [N/ml]	H B [m]	P [N]	Entraxe [m]	P B [N/m]
	34,2	3,2	109,44	0,35	312,685714
Sous-toiture Celit 4D	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P A [N/m]		
	59	1,6	94,4		
	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P B [N/m]		
	59	3,2	188,8		
OSB	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P A [N/m]
	6000	0,022	132	1,6	211,2
	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P B [N/m]
	6000	0,022	132	3,2	422,4
panneau en fibre de bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P A [N/m]
	1800	0,06	108	1,6	172,8
	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P B [N/m]
	1800	0,06	108	3,2	345,6
PP. REHAUSSE	P A [N/m]	P B [N/m]			
	<b>634,7428571</b>	<b>1269,485714</b>	N/ml		

PLANCHER R+2

Au niveau des poutres, il existe des parties de murs porteurs  
mais hypothèse: des poutres partout et sur toute la longueur de 7,3 m.

SOLIVE 120X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,12	0,06	0,4	90
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	15,4	9,81	151,074		
TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ]		TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]	
	241,074			2000	
POUTRE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	L [m]	P [N/m]
	5000	0,25	0,2	7,06	250
				7,06 car tête coupée	
CHARGES REPRISES PAR POUTRE N/m	P1 [N/m]	P2 [N/m]	P3 [N/m]		
	1020,23143	1074,47308	896,07832		(P perm. * L/2) + PP poutre (Exploitation)
	6390	6840	5360		
CHARGES PONCT SUR MUR DE FACADE A et B N	P1 [N]	P2 [N]	P3 [N]		
	3601,416948	3792,889972	3163,15647		(Permanent)
	22556,7	24145,2	18920,8		(Exploitation)

PLANCHER R+1

SOLIVE 120X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,12	0,06	0,4	90
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	15,4	9,81	151,074		
TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ]		TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]	
	241,074			2000	

POUTRE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	L [m]	P [N/m]
	5000	0,25	0,2	7,06	250
CHARGES REPRISES PAR POUTRE	P1 [N/m]	P2 [N/m]	P3 [N/m]	(P perm. * L/2) + PP poutre (Exploitation)	
	1020,23143	1074,47308	896,07832		
	6390	6840	5360		
N/m					
CHARGES PONCT SUR MUR	P1 [N]	P2 [N]	P3 [N]	(Permanent) (Exploitation)	
DE FACADE A et B	3601,416948	3792,889972	3163,15647		
	22556,7	24145,2	18920,8		

### PLANCHER R

SOLIVE 250X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	5000	0,25	0,06	0,4	187,5		
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]	ISOLANT CELLULOSE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	15,4	9,81	151,074		500	0,25	125
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]	TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION		s [N/m <sup>2</sup> ]			
N/m <sup>2</sup>	463,574	N/m <sup>2</sup>		2000			
POUTRE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	L [m]	P [N/m]		
	5000	0,25	0,2	7,06	250		
CHARGES REPRISES PAR POUTRE	P1 [N/m]	P2 [N/m]	P3 [N/m]	(P perm. * L/2) + PP poutre (Exploitation)			
	1731,11893	1835,42308	1492,37832				
	6390	6840	5360				
N/m							
CHARGES PONCT SUR MUR	P1 [N]	P2 [N]	P3 [N]	(Permanent) (Exploitation)			
DE FACADE A et B	6110,849823	6479,043472	5268,09547				
N	22556,7	24145,2	18920,8				

Colonnes en bois					
COLONNE 250X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	H [m]	P [N]
	5000	0,25	0,06	5,3	397,5
TOTAL COLONNES + PLANCHERS					
CHARGES PONCT TOTALES SUR MUR	P1 [N]	P2 [N]	P3 [N]	Tan 30° = 0,57735027	
DE FACADE A et B	<b>13711,18372</b>	<b>14462,32342</b>	<b>11991,90841</b>		
N	<b>67670,1</b>	<b>72435,6</b>	<b>56762,4</b>		
H plancher rez_fondation [m] = 1,9					
	P1 [N/m]	P2 [N/m]	P3 [N/m]		
	<b>6249,596535</b>	<b>6591,968146</b>	<b>5465,945959</b>		
	<b>30844,22404</b>	<b>33016,35249</b>	<b>25872,46336</b>		

A partir de maintenant, prendre la valeur la plus élevée de la charge linéaire (cas le plus critique). Il s'agit de P<sub>2</sub> (où se trouve la barre verticale rouge).

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	<b>Vent W</b>	2547,565179	N/ml
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b>	N/ml
		3041,241573	

GAMMA	<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	N/ml
		108554,1027	125778,846	
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	N/ml
		40916,35249	40916,3525	
	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>	
		1,35	1,5	
	<b>Vent W</b>	3821,347768	N/ml	
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b>	N/ml	
		4561,86236		
	<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	N/ml
		146548,0386	169801,441	
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	N/ml
		61374,52874	61374,5287	
<b>ELU</b>				
COMBINAISON	Charge d'exploitation I	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
		0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	212496,3072	235749,71	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	209599,2094	232852,612	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	207922,5673	231175,97	
<b>ELS</b>				
COMBINAISON	Charge d'exploitation I	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
		0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	152519,615	169744,358	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	150588,217	167812,959	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	149470,455	166695,198	

### Descente de charges après rénovation : les murs mitoyens

La surface des murs mitoyens est modifiée lors des travaux. Toutefois, il est préférable de conserver la même valeur de H car une surestimation du poids des murs a déjà eu lieu avant rénovation en considérant une surface rectangulaire englobant la maison et non un rectangle + un triangle.

MURS					
MUR MITOYEN	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
Mur C	7,6	0,25	28000	7000	53200
	H cave [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,4	28000	11200	19600
MUR MITOYEN	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]

Mur D	7,6	0,5	28000	14000	106400
	H [m]	ep [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	PP[N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]
	1,75	0,65	28000	18200	31850

PP mur faç.	P C [N/m]	P D [N/m]	N/ml
	<b>72800</b>	<b>138250</b>	

PLANCHER R+2 et R+1					
SOLIVE 120X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,12	0,06	0,4	90

PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	15,4	9,81	151,074

TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]	TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	241,074	N/m <sup>2</sup>	2000

CHARGES PERMANENTES REPRISES PAR MURS	Mur C [N/m]	Mur D [N/m]	*2 car deux planchers! N/ml
	<b>262,77066</b>	<b>329,06601</b>	
	<b>2180</b>	<b>2730</b>	

PLANCHER R					
SOLIVE 250X60mm	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,25	0,06	0,4	187,5

PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]	ISOLANT CELLULOSE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	15,4	9,81	151,074		500	0,25	125

TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]	TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	463,574	N/m <sup>2</sup>	2000

CHARGES PERMANENTES REPRISES PAR MURS	Mur C [N/m]	Mur D [N/m]	N/ml
	<b>505,29566</b>	<b>632,77851</b>	
	<b>2180</b>	<b>2730</b>	

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	<b>Vent W</b>	0	N/ml	
	<b>Neige S</b>	<b>Pente</b> 0	N/ml	
	<b>G</b>	<b>Mur C</b> 73568,0663	<b>Mur D</b> 139211,845	N/ml
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur C</b> 4360	<b>Mur D</b> 5460	N/ml
	GAMMA	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b> 1,35	<b>Surcharge, neige et vent</b> 1,5
		<b>Vent W</b>	0	N/ml
		<b>Neige S</b>	<b>Pente</b> 0	N/ml

		<b>G</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>	N/ml
			99316,8895	187935,99	
		<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>	N/ml
			6540	8190	
<b>ELU</b>			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
COMBINAISON	Charge d'exploitation I		0,7	0,5	0,3
	Neige S		0,5	0,2	0
	Vent W		0,6	0,2	0
			<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>		105856,89	196125,99	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>		105856,89	196125,99	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>		105856,89	196125,99	

			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>ELS</b>					
COMBINAISON	Charge d'exploitation I		0,7	0,5	0,3
	Neige S		0,5	0,2	0
	Vent W		0,6	0,2	0
			<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>		77928,0663	144671,845	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>		77928,0663	144671,845	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>		77928,0663	144671,845	

## B. Descentes de charges Maison mitoyenne | Schaerbeek

### Descente de charges avant rénovation : les murs mitoyens

#### TOITURE

#### Dimensions et poids

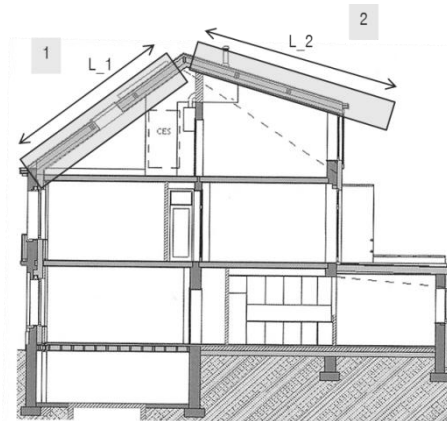
PANNES	L [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe_1 [m]	Entraxe_2 [m]	Nombre	
	5,76	0,075	0,22	39	18	2	1,666	7	
L = portée entre les deux murs mitoyens					dont 1 faitière et 2 sablières				
CHEVRONS	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe [m]	Nombre	
	6	5	0,05	0,063	39	18	0,411	15	
LATTES	L [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe_1 [m]	Entraxe_2 [m]	Nbre_1	Nbre_2
	5,76	0,032	0,01	39	18	0,4	0,4	16	13

**Calcul du vent** : il a été réalisé pour  $\theta=0$  et  $180^\circ$  dans le tableau xl. Vu que les pentes de toiture sont différentes, la pression moyenne pour  $\theta=0$  est la plus grande, c'est donc elle qui est conservée.



**Charges à prendre en compte**

Coefficient de pression intérieur			
Cp,i	qp	Wi	
-0,5	669,70	<b>-334,85</b>	N/m <sup>2</sup>
0,8	669,70	<b>535,76</b>	N/m <sup>2</sup>



Vb	26,2 m/s	(vitesse moyenne du vent en Belgique)	Formule: $V_b = V_{b,0} * C_{dir} * C_{season}$ avec $C_{dir}=1$ et $C_{season}=1$
Vm	14,482 m/s	(vitesse moyenne du vent à une hauteur z)	formule : $C_r * C_0 * V_b$
Cr	0,5528	formule : $k_r * \ln(Z/Z_0)$ car $Z_{min} \leq Z \leq Z_{max}$	
C0	1	car terrain relativement plat	Coefficient orographique
qb	429,025 N/m <sup>2</sup>	(1/2) * $\rho$ air * $V_b^2$ = pression dynamique de référence	
	131,092		
qm	1 N/m <sup>2</sup>	formule : (1/2) * $\rho$ air * $V_m^2$	
$\rho$ air	1,25 Kg/m <sup>3</sup>		
Z	10,58 m	Z est la distance entre le sol et le sommet du toit	
kr	0,2342	formule : $0,19 * (Z_0/0,05)^{0,07}$	facteur de terrain dépendant de la longueur de rugosité Z0
Z0	1 m	car catégorie de terrain n°4	Longueur de rugosité
Zmi			
n	10 m	car catégorie de terrain n°4	dépend de la catégorie de terrain
	669,708		
qp	5 N/m <sup>2</sup>	formule : $[1+7* v ]*q_m = C_e * q_b$	Pression dynamique de pointe
Ce	1,561 m	par graphique (p 24) fct de Z. Ce tableau vaut pour un terrain plat (C0=1)	

Hypothèses: négliger la présence de l'annexe par rapport au vent  
Pas de face dominante (pour le calcul de Cpi)

**Toiture - coefficient de pression extérieure**

$\theta = 0^\circ$	alpha 1 [°]	alpha 2 [°]
	39	18

				Cp,e	qp	We	Wi	We-Wi	
<b>F</b>	30	39	45	X_1= -0,2	669,708025	<b>-133,94</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-669,70</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,5	X_1	0	X_2= 0,7	669,708025	<b>468,79</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>803,64</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,7	X_2	0,7						
<b>G</b>	30	39	45	X_1= -0,2	669,708025	<b>-133,94</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-669,70</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,5	X_1	0	X_2= 0,7	669,708025	<b>468,79</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>803,64</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,7	X_2	0,7						
<b>H</b>	30	39	45	X_1= -0,08	669,708025	<b>-53,57</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-589,34</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,2	X_1	0	X_2= 0,52	669,708025	<b>348,24</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>683,10</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,4	X_2	0,6						
<b>I</b>	15	18	30	X_1= -0,4	669,708025	<b>-267,88</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-803,64</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,4	X_1	-0,4	X_2= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>334,85</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	X_2	0						
<b>J</b>	15	18	30	X_1= -0,9	669,708025	<b>-602,73</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-1138,50</b> N/m <sup>2</sup>	
	-1	X_1	-0,5	X_2= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>334,85</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	X_2	0						

	Pression	Pr. Alpha 1	Pr. Alpha 2	<b>P de vent repris par chaque mitoyen</b>
VENT	531,82	684,33	559,19	<b>3581,36</b>
	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m

NEIGE	A [m]	Z	s k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ 39°	μ 18°	C e	C t	s n 1 [N/m <sup>2</sup> ]	s n 2 [N/m <sup>2</sup> ]
	75	4,5	0,733	0,56	0,8	1	1	410,83	586,91
	μ_1 sont les cas le plus défavorables							<b>P neige repris par chaque mitoyen</b>	
								N/m	<b>1183,21      1690,30</b>

SURCHARGE	s e [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

Formule pour les éléments à entraxe (panne, latte, chevron,...): rho \* h\*b/entraxe

COUVERTURE	Tuiles	Lattes 1	Lattes 2	Chevrons 1	Chevrons 2	Couverture 1	Couverture 2	
N/m <sup>2</sup>	500	4,56	4,56	40,00	40,00	544,56	544,56	N/m <sup>2</sup>
	Somme des tuiles, lattes et chevrons							

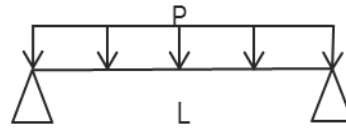
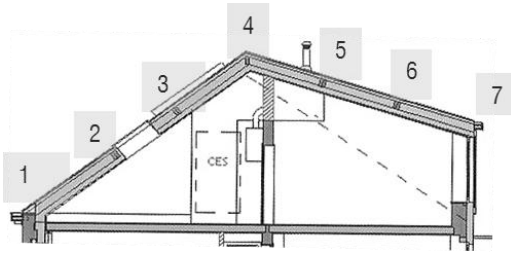
Tuile canal 50 kg/m<sup>2</sup>      Poids volumique des lattes 3000 N/m<sup>3</sup>      Poids volumique des chevrons 4500 N/m<sup>3</sup>

Calcul des charges amenées par les pannes sur le mur							
PANNE (PP)	Pannes appartenant à la pente 1			Pannes appartenant à la pente 2			
	Pannes 1	Pannes 2	Pannes 3	Pannes 4	Pannes 5	Pannes 6	Pannes 7
N/m <sup>2</sup>	37,96			45,58			N/m <sup>2</sup>

Poids volumique du bois 4500 N/m<sup>3</sup>      Hypothèse: cas le plus défavorable en terme de poids pour la panne 4  
 Les pannes n°1 et n°7 sont des sablières  
 Hypothèse: elles sont reprises par les murs mitoyens même si en réalité, elles sont posées en partie sur les façades

TOTAL CHARGES PERMANENTES	<b>Pente 1</b>			<b>Pente 2</b>				
N/m <sup>2</sup>	Pannes 1	Pannes 2	Pannes 3	Pannes 4	Pannes 5	Pannes 6	Pannes 7	N/m <sup>2</sup>
	582,5360493			544,5672993				
	PP_panne_pente 1 + Couverture_1			PP_panne_pente 2 + Couverture_2				
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	<b>Pente 1</b>			<b>Pente 2</b>				
N/m <sup>2</sup>	Pannes 1	Pannes 2	Pannes 3	Pannes 4	Pannes 5	Pannes 6	Pannes 7	N/m <sup>2</sup>
	2000			2000				
CHARGES LIN. DE TOITURE SUR MUR MITOYEN	<b>Pente 1 sur mitoyens A et B</b>			<b>Pente 2 sur mitoyens C</b>				
N/m	Pannes 1	Pannes 2	Pannes 3	Pannes 4	Pannes 5	Pannes 6	Pannes 7	N/m
	<b>1677,703822</b>			<b>1568,353822</b>				
	<b>5760</b>			<b>5760</b>				

Réaction d'appui : Charge perm.(ou expl.) \* L/2 = PL/2



**MUR MITOYEN**  
**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN N	valeur max!					valeur max!		$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	ep_mur [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
	S_total [m <sup>2</sup> ]	S1_cave [m <sup>2</sup> ]	S2_cave [m <sup>2</sup> ]	S_sol [m <sup>2</sup> ]	H1_cave [m]	H2_cave [m]	Hmax_sol [m]			
	107	48	10	49	10	2,4	10	18000	0,11	1980

Poids volumique de la maçonnerie en terre cuite  
18000 N/m<sup>3</sup>

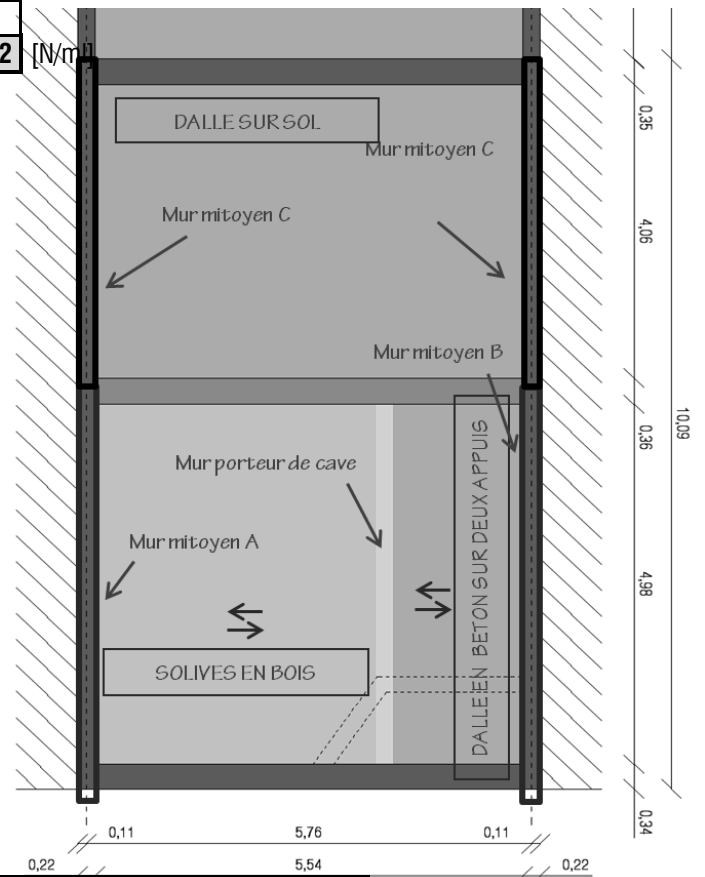
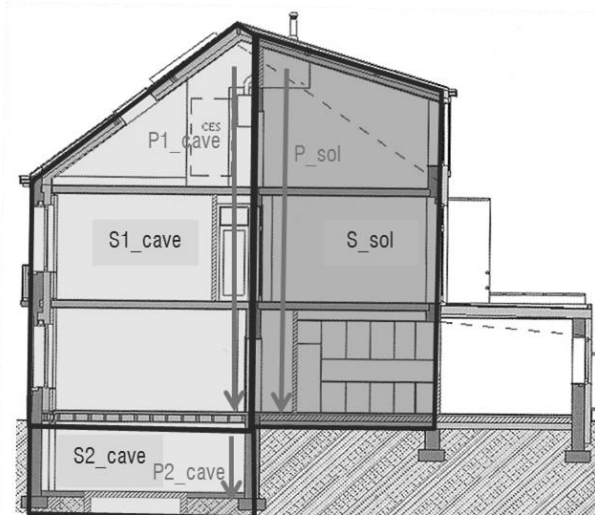
Formule:  
 $\rho \cdot \text{épaisseur}$

**Calcul du poids du mur au pied de chaque mur mitoyen**

P1\_cave correspond au poids au pied du mur à l'intersection avec le plancher du rez-de-chaussée

POIDS DES MURS MITOYENS AU METRE LINEAIRE	P1_cave	P_sol	P2_cave	[N/m]
	19800	19800	4752	

Formule générale: Poids [N/m<sup>2</sup>] \* H



**Calcul des charges amenées par les solives et par la dalle en béton sur le mur**

SOLIVE (PP) N/m <sup>2</sup>	L [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	3,91	0,06	0,17	0,34	135
PLANCHER (PP)	P [kg/m <sup>2</sup> ]		g [m/s <sup>2</sup> ]		P [N/m <sup>2</sup> ]

N/m <sup>2</sup>	15,4	9,81	151,074	
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	286,074			
N/m <sup>2</sup>	PP solive + PP plancher			
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]			
	2000			
N/m <sup>2</sup>				
DALLE BETON (pp)	Ep. [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	L [m]	
N/m <sup>2</sup>	0,15	3750	1,85	
	Poids volumique du béton 25000 N/m <sup>3</sup>			
CHARGES SUR MUR MITOYEN	Pmit A	Pmit B	Pporteur	
N/m	<b>559,27467</b>	<b>3468,75</b>	<b>4028,0247</b>	N/ml
PL/2	<b>3910</b>	<b>1850</b>	<b>5760</b>	

ANNEXE				
<b>Charges à prendre en compte</b>				
MUR MITOYEN (PP)	H_mur [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	ep_mur [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
	3,8	18000	0,11	1980
	Poids volumique de la maçonnerie en terre cuite 18000 N/m <sup>3</sup>			
CHARGES LINÉAIRES SUR FONDATIONS	Fondation sous chaque (deux) mur mitoyen de l'annexe			
N/ml	<b>7524</b>			N/ml

Il faut noter que les dalles sur sol n'ont pas été prises en compte dans la descente de charge car leurs charges sont reprises, comme leur nom l'indique, par le sol (la terre).

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	3581,361						
	<b>Vent W</b>	48	N/ml				
	<b>Neige S</b>	<b>Pente 1</b>	<b>Pente 2</b>	N/ml			
		1183,21	1690,30				
	<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>	N/ml
		26788,97	29698,45	8780,02	21368,35	7524	
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>	N/ml
		9670	5760	5760	5760	0	
<b>ELU</b>	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>				
GAMMA		1,35	1,5				
	5372,042						
	<b>Vent W</b>	23	N/ml				
	<b>Neige S</b>	<b>Pente 1</b>	<b>Pente 2</b>	N/ml			
		1774,82	2535,458				

		<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>	<b>N/m</b>
			36165,12	40092,91	11853,03	28847,27	10157,4	l
<b>Charge d'exploitation I</b>		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>	<b>N/m</b>	<b>l</b>
		14505	8640	8640	8640	0		
<b>COMBINAISON</b>		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$				
Charge d'exploitation I		0,7	0,5	0,3				
Neige S		0,5	0,2	0				
Vent W		0,6	0,2	0				

		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>
			52843,54		41978,23	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	54780,75	8	20493,03	2	10157,4
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	52099,49	50162,28	20493,03	39068,77	10157,4
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	50670,12	48732,91	20493,03	37487,27	10157,4

<b>ELS</b>		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
<b>COMBINAISON</b>		0,7	0,5	0,3
		0,5	0,2	0
		0,6	0,2	0

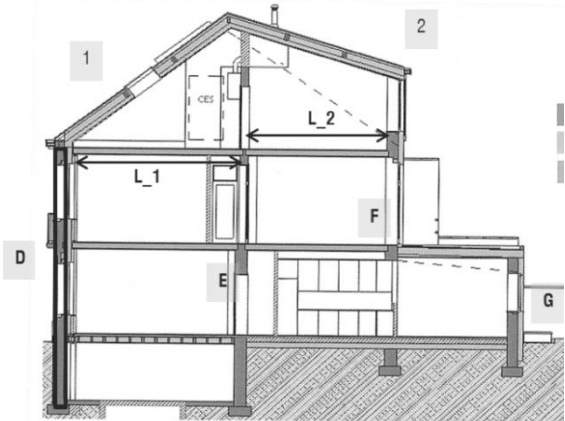
  

		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur porteur</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur annexe</b>
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	39199,40	38198,87	14540,02	30122,32	7524
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	37411,89	36411,36	14540,02	28182,68	7524
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	36458,97	35458,45	14540,0247	27128,35	7524

### Descente de charges avant rénovation : les façades/murs porteurs

PLANCHER R+2						
SOLIVE (pp) N/m <sup>2</sup>	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5,31	4,35	0,07	0,18	0,4	141,75
Poids volumique du bois 4500 N/m <sup>3</sup>						
PLANCHER (pp) N/m <sup>2</sup>	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	15,4	9,81	151,07			
TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ] 292,82					
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ] 2000					
CHARGES SUR MUR FAÇADE PL/2	sur mur D	sur mur E	sur mur F			
	777,44772	1414,33	636,89			
	5310	9660	4350			

PLANCHER R+1						
SOLIVE (pp) N/m <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> [m]	L <sub>2</sub> [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5,31	4,35	0,07	0,18	0,4	141,75
Poids volumique du bois 4500 N/m <sup>3</sup>						
PLANCHER (pp)	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	15,4	9,81	151,074			
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]					
	292,82					
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]					
	2000					
CHARGES SUR MUR FACADE PL/2	sur mur D		sur mur E		sur mur F	
	777,44		1414,33		636,89	
	5310		9660		4350	



**Charges à prendre en compte**

**VENT** Hypothèse: négliger le vent sur l'annexe car le volume est nettement inférieur à celui du bâtiment principal et il est 'protégé' par ce dernier et par les bâtiments autour car l'arrière de la maison se trouve dans le centre d'un îlot.

NEIGE	A [m]	Z	s <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	μ <sub>0</sub> °	C <sub>e</sub>	C <sub>t</sub>	s <sub>n1</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	alpha [°]
	75	4,5	0,73	0,8	1	1	586,91	0
SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ]			L <sub>toit</sub> [m]				
	1500			3,75				
TOITURE (pp)	Toiture							
	550		N/m <sup>2</sup>					
CHARGES SUR MUR FACADE N/m	sur mur F		sur mur G					
	1031,25		1031,25		N/ml			
	2812,5		2812,5					

MURS
MUR FACADE (pp)
Formules
PP = ρ* ep.
P = PP*H

CAVE	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	H <sub>D</sub> [m]	ep <sub>D</sub> [m]	PP <sub>D</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>D</sub> [N/m]	H <sub>E</sub> [m]	ep <sub>E</sub> [m]	PP <sub>E</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>E</sub> [N/m]
	18000	2,16	0,34	6120	13219,2	2,16	0,36	6480	13996,8
REZ	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	H <sub>D</sub> [m]	ep <sub>D</sub> [m]	H <sub>E</sub> [m]	ep <sub>E</sub> [m]	H <sub>F</sub> [m]	ep <sub>F</sub> [m]	H <sub>G</sub> [m]	ep <sub>G</sub> [m]
	18000	3,1	0,34	3,1	0,36	3,1	0,35	3,1	0,11
		PP <sub>D</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>D</sub> [N/m]	PP <sub>E</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>E</sub> [N/m]	PP <sub>F</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>F</sub> [N/m]	PP <sub>G</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>G</sub> [N/m]
	6120	18972	6480	20088	6300	19530	1980	6138	
1ER ETAGE	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	H <sub>D</sub> [m]	ep <sub>D</sub> [m]	H <sub>E</sub> [m]	ep <sub>E</sub> [m]	H <sub>F</sub> [m]	ep <sub>F</sub> [m]		
	18000	3,43	0,34	3,07	0,23	3,07	0,34		
		PP <sub>D</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>D</sub> [N/m]	PP <sub>E</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>E</sub> [N/m]	PP <sub>F</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P <sub>F</sub> [N/m]		
	6120	20991,6	4140	12709,8	6120	18788,4			

2EME ETAGE	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	H E [m]	ep E [m]	H F [m]	ep F [m]
	18000	3,85	0,23	2,4	0,17
PP mur façade	PP_E [N/m <sup>2</sup> ]	P_E [N/m]	PP_F [N/m <sup>2</sup> ]	P_F [N/m]	
	4140	15939	3060	7344	
PP mur façade	P_D [N/m]	P_E [N/m]	P_F [N/m]	P_G [N/m]	N/ml
	53182,8	62733,6	45662,4	6138	

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION

ELU GAMMA	<b>Vent W</b>	0	N/ml			
	<b>Neige S</b>	Toit pente 0	<b>toit plat</b> 1100,45	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur D</b> 54737,69	<b>Mur E</b> 65562,27	<b>Mur F</b> 47967,43	<b>Mur G</b> 7169,25	N/ml
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur D</b> 10620	<b>Mur E</b> 19320	<b>Mur F</b> 11512,5	<b>Mur G</b> 2812,5	N/ml
	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b> 1,35	<b>Surcharge, neige et vent</b> 1,5			
	<b>Vent W</b>	0	N/ml			
	<b>Neige S</b>	Toit pente 0	<b>toit plat</b> 1650,68	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur D</b> 73895,88	<b>Mur E</b> 88509,07	<b>Mur F</b> 64756,03	<b>Mur G</b> 9678,48	N/ml
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur D</b> 15930	<b>Mur E</b> 28980	<b>Mur F</b> 17268,75	<b>Mur G</b> 4218,75	N/ml
	COMBINAISON	Charge d'exploitation I	$\psi_0$ 0,7	$\psi_1$ 0,5	$\psi_2$ 0,3	
Neige S		0,5	0,2	0		
Vent W		0,6	0,2	0		
		<b>Mur D</b>	<b>Mur E</b>	<b>Mur F</b>	<b>Mur G</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	89825,88	117489,07	82850,13	14722,58	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	89825,88	117489,07	82354,92	14227,37	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	89825,88	117489,078	82024,78	13897,23	

ELU COMBINAISON	Charge d'exploitation I	$\psi_0$ 0,7	$\psi_1$ 0,5	$\psi_2$ 0,3	
	Neige S	0,5	0,2	0	
	Vent W	0,6	0,2	0	
		<b>Mur D</b>	<b>Mur E</b>	<b>Mur F</b>	<b>Mur G</b>
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	65357,69	84882,27	60580,39	10531,97
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	65357,69	84882,27	60580,39	10201,84



**C. S dominante 65357,69 84882,27 60580,39 9981,75**

**Descente de charges après rénovation : les murs mitoyens**

**TOITURE**

**Dimensions et poids**

Ossature FJI	L [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe_1 [m]	Entraxe_2 [m]	Nombre	P [N/m]
	5,76	0,058	0,4	39	18	0,56	0,56	23	44,4

Il s'agit de la portée entre les deux murs mitoyens

4,44 kg/m

ISOLANT	P vol [N/m³]	ép [m]	P [N/m²]
CELLULOSE	500	0,4	200

50 kg/m³

SOUS TOITURE	P [N/m²]
CELIT 4D	59

TUILES	P [N/m²]
	500

Panneaux photovoltaïques: Deux sont posés sur le versant de la toiture côté rue. Il pèse chacun 22 kg. Hypothèse: poids négligeable par rapport aux charges considérées.

CONTRE LATTES	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe [m]	P [N/m²]
	6	5	0,025	0,02	39	18	0,3	5

LATTES	L [m]	b [m]	h [m]	alpha_1 [°]	alpha_2 [°]	Entraxe_1 [m]	Entraxe_2 [m]	P [N/m²]
	5,76	0,025	0,02	39	18	0,3	0,3	5

Tuile canal Poids volumique des lattes et contre lattes  
50 kg/m² 3000 N/m³

**Charges à prendre en compte**

VENT	Pression N/m²	Pr. Alpha 1 N/m²	Pr. Alpha 2 N/m²	<b>P vent repris par chaque mitoyen N/m</b>
	531,82	684,33	559,19	<b>3581,36</b>

Vent: idem pour le cas 'Avant\_Mitoyens'

NEIGE	A [m]	Z	s_k [kN/m²]	μ_39°	μ_18°	C_e	C_t	s_n 1 [N/m²]	s_n 2 [N/m²]
	75	4,5	0,733	0,56	0,8	1	1	410,83	586,91

SURCHARGE (ENTRETIEN)	s_e [N/m²]	
	2000	N/m

<b>P neige repris par chaque mitoyen</b>	
<b>1183,21</b>	<b>1690,305</b>

**Calcul des charges amenées par les FJI sur le mur**

Ossature FJI (PP) N/m²	Pente 1 [N/m²]	Pente 2 [N/m²]
	79,28	79,28

TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	Pente 1 [N/m <sup>2</sup> ] 848,28	Pente 2 [N/m <sup>2</sup> ] 848,28
Total = FJI + isolant + tuile + ...		
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	Pente 1 [N/m <sup>2</sup> ] 2000	Pente 2 [N/m <sup>2</sup> ] 2000
CHARGES LIN. DE TOITURE SUR MUR MITOYEN N/m	Pente 1 sur mitoyens A et B [N/m] <b>2443,06</b>	Pente 2 sur mitoyens C [N/m] <b>2443,06</b>
	<b>5760</b>	<b>5760</b>

**MUR MITOYEN**  
**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN	S_total [m <sup>2</sup> ] 107	S1_cave [m <sup>2</sup> ] 48	S2_cave [m <sup>2</sup> ] 10	S_sol [m <sup>2</sup> ] 49	H1_cave [m] 10	H2_cave [m] 2,4	Hmax_sol [m] 10	ρ [N/m <sup>3</sup> ] 18000	ep_mur [m] 0,11	Poids [N/m <sup>2</sup> ] 1980
-------------	----------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	-------------------------------	-------------------	--------------------	--------------------	--------------------------------	--------------------	-----------------------------------

Poids volumique de la maçonnerie en terre cuite  
18000 N/m<sup>3</sup>

Ossature en bois	ρ_bois [N/m <sup>3</sup> ] 4500	ep_bois [m] 0,08	b_bois [m] 0,04	entraxe [m] 0,5	H1_cave [m] 10	Hmax_sol [m] 10	P1_cave [N/m <sup>2</sup> ] 28,8	P_sol [N/m <sup>2</sup> ] 28,8
cellulose	P_vol [N/m <sup>3</sup> ] 500	ep [m] 0,08	H1_cave [m] 10	Hmax_sol [m] 10	P1_cave [N/m <sup>2</sup> ] 40	P_sol [N/m <sup>2</sup> ] 40		
panneau en fibre de bois	P_vol [N/m <sup>3</sup> ] 1800	ep [m] 0,06	H1_cave [m] 10	Hmax_sol [m] 10	P1_cave [N/m <sup>2</sup> ] 108	P_sol [N/m <sup>2</sup> ] 108		

Les ossatures isolées des murs mitoyens, posent sur chaque plancher. Vu qu'elles sont adjacentes aux murs, l'hypothèse est de considérer que l'entiereté de leurs charges sont transmises à ce mur adjacent par l'intermédiaire du plancher.



**PLANCHER R+2** Les têtes du gîtage étant coupées, celles-ci sont reprises par une double structure intérieure qui est ensuite reprise par des linteaux métalliques ancrés dans les murs mitoyens de cave

L 1 ne vaut plus 5,31m car les têtes des solives sont coupées

SOLIVE (pp) N/m <sup>2</sup>	L 1 [m] 4,99	L 2 [m] 4,35	b [m] 0,07	h [m] 0,18	Entraxe [m] 0,4	P [N/m <sup>2</sup> ] 141,75
------------------------------	-----------------	-----------------	---------------	---------------	--------------------	---------------------------------

Poids volumique du bois 4500 N/m<sup>3</sup>

PLANCHER (pp) N/m <sup>2</sup>	P [kg/m <sup>2</sup> ] 15,4	g [m/s <sup>2</sup> ] 9,81	P [N/m <sup>2</sup> ] 151,07	TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ] 363,69
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	---------------------------------	--	---------------------------------

CHARGES SUR MUR N/m	sur mur D <b>907,79</b>	N/ml
	<b>4992</b>	

DOUBLAGE	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]
SOLIVE	4,992	4,35	0,035	0,18

N/m<sup>2</sup> Poids volumique du bois  
4500 N/m<sup>3</sup>

TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

N/m<sup>2</sup>

**PLANCHER R+1** Les têtes du gîtage étant coupées, celles-ci sont reprises par une double structure intérieure qui est ensuite reprise par des linteaux métalliques ancrés dans les murs mitoyens de cave

L\_1 ne vaut plus 5,31m car les têtes des solives sont coupées

SOLIVE (pp)	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	4,99	4,35	0,07	0,18	0,4	141,75

Poids volumique du bois  
4500 N/m<sup>3</sup>

PLANCHER (pp)	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	15,4	9,81	151,07

TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]
	363,69

N/m<sup>2</sup>

CHARGES SUR MUR	sur mur D	
	<b>907,79</b>	N/ml
N/m	<b>4992</b>	

DOUBLAGE	L_1 [m]	L_2 [m]	b [m]	h [m]
SOLIVE	4,992	4,35	0,035	0,18

N/m<sup>2</sup> Poids volumique du bois  
4500 N/m<sup>3</sup>

TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

N/m<sup>2</sup>

**PLANCHER R**

**Calcul des charges amenées par les solives et par la dalle en béton sur le mur**

SOLIVE (pp)	L [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	3,91	0,06	0,17	0,34	135

Poids volumique du bois  
4500 N/m<sup>3</sup>

PLANCHER (pp)	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
N/m <sup>2</sup>	15,4	9,81	151,07

TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]
	427,01

N/m<sup>2</sup>

DALLE BETON (pp)	Ep. [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	L [m]
N/m <sup>2</sup>	0,15	3750	1,85

Poids volumique du béton  
25000 N/m<sup>3</sup>

CHARGES SUR MUR MITOYEN	Pmit_A	Pmit_B	Pporteur	
	<b>834,81</b>	<b>3991,44</b>	<b>4826,25</b>	N/ml
N/m	<b>3910</b>	<b>1850</b>	<b>5760</b>	

PANNEAU EN FIBRE DE BOIS	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P1_cave [N/m <sup>2</sup> ]		
	1800	0,06	108		
CELLULOSE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	b [m]	Entraxe [m]	P1_cave [N/m <sup>2</sup> ]
	500	0,08	0,28	0,34	32,94117647
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]				
	2000				
OSB N/m <sup>2</sup>	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	6000	0,015	90		
PLANCHER N/m <sup>2</sup>	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	15,4	9,81	151,074		
PANNEAU EN FIBRE DE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	1800	0,18	324		

**ISOLATION PAR L'INTERIEUR**

DOUBLE STRUC INTERIEURE DERRIERE LE MUR D	Ossature FJI 45X240 mm	P [N/ml]	H [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]
		28,9	6,53	188,71	0,4	471,79

Isolant cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	500	0,4	200	6,53	1306

50 kg/m<sup>3</sup> On néglige l'épaisseur de la structure FJI car son épaisseur (âme) est très faible

OSB	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	6000	0,018	108	6,53	705,24

panneau en fibre de bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	1800	0,06	108	6,53	705,24

Total	P [N/m]
	3188,2725

POIDS PLANCHERS R+1 ET R+2	P_planchers	N/ml
	1815,58	
	9984	

POUTRE HEA 200	P [N/m]	L [m]
	423	4,01

Total perm. Ptot[N/m] 5426,85 Il s'agit de la somme du PP de la double du structure, des planchers et de la poutre.

ASSELET	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	l [m]	P_a [N/m]
	25000	0,25	0,15	937,5

Poutre HEA sur asselet	P [N]	l [m]	2b [m]	P_HEA [N/m]
	10880,85	0,15	0,5	21761,70

$P = P_{tot} * L / 2$

Total perm.	Pmit A	Pporteur	N/ml
	22699,20	22699,20	

$P_a + P_{HEA} \quad P_a + P_{HEA}$

Exploitation	P [N] (exploit.)	l [m]	2b [m]	P [N/m]
	20017,92	0,15	0,5	40035,84

$P / b$

Total exploitation	Pmit_A	Pporteur	N/ml
	<b>40035,84</b>	<b>40035,84</b>	

**Asselet de répartition + poutre HEA 200**

h [m]	b [m]	G mit A	G porteur	N/ml
2,15	0,25	11313,94	11313,94	
		19955,03	19955,03	

Sur une longueur de 2,00 m

2 POUTRES HEA 100 

P [N/m]	L [m]
334	1,85

 Ces poutres reprennent les doubles structures (tout comme la HEA 200).

Total	P [N/m]	(perm.)
	5337,857908	

Total perm.	Pmit_B	Pporteur	N
	<b>4937,51</b>	<b>4937,51</b>	

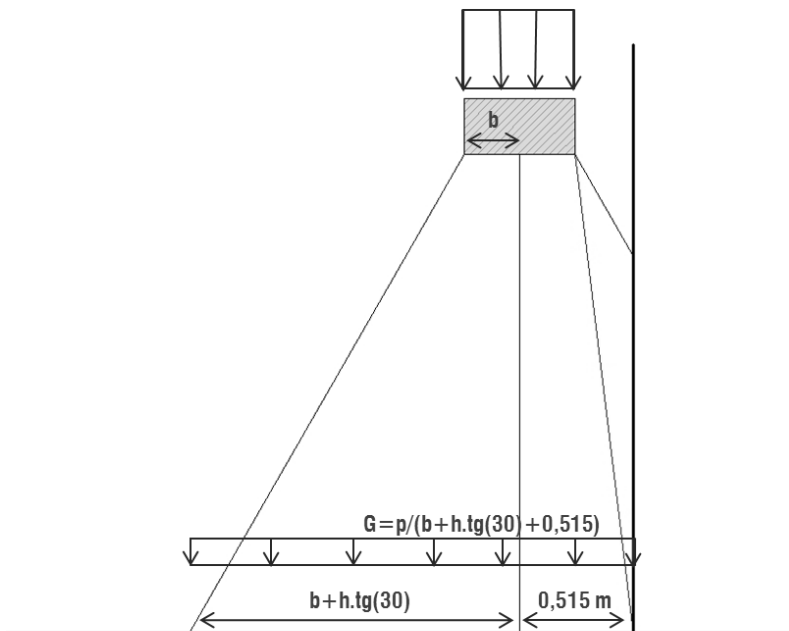
Total exploitation	P [N]
	<b>9235,2</b>

**Deux poutres HEA 100**

C'est la moitié des 2 poutres HEA 100(mm)

b [m]	G mit B	G porteur
0,1	1911,83	1911,835667
		3575,92

Sur une longueur de 2,58 m  
Donc, charge uniformément répartie sur 2,58 m.



ANNEXE					
Charges à prendre en compte					
MUR MITOYEN (pp)	H mur [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	ep mur [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	
	3,8	18000	0,11	1980	
Poids volumique de la maçonnerie en terre cuite 18000 N/m <sup>3</sup>					
Ossature en bois	ρ bois [N/m <sup>3</sup> ]	ep bois [m]	b bois [m]	entraxe[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	4500	0,15	0,04	0,5	54
Cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	500	0,15	75		
Laine de chanvre	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	400	0,06	24		
Contre lattage	ρ bois [N/m <sup>3</sup> ]	ep bois [m]	b bois [m]	Nombre	P [N/m]
	3000	0,03	0,15	10	135
Lattage	ρ bois [N/m <sup>3</sup> ]	ep bois [m]	b bois [m]	entraxe[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	3000	0,15	0,03	0,5	27
CHARGES LINÉAIRES SUR FONDATIONS	Fondation sous le mur mitoyen de l'annexe				
N/ml	<b>8343</b>				

Il faut noter que les dalles sur sol n'ont pas été prises en compte dans la descente de charge car leurs charges sont reprises, comme leur nom l'indique, par le sol (la terre).

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES  
SUR  
FONDATION

**Vent W** 3581,  
36 N/ml

**Neige S** **Pente 1** **Pente 2**  
1183, 1690,3  
21 0 N/ml

Le nom de ces murs (2 et 2,58) désigne la distance en [m] le long de laquelle est appliquée la charge.

G	Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2	Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml
				2401						
	29597,87	32754,50	9578,25	1,06286	40911,82	34666,34	20892,20	11490,09	8343	

Charge d'exploitation	I	Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2	Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml
		9670	7610	5760	5760	29625,03	11185,92	25715,03	9335,92	0	

**ELU**  
GAMMA

**Coefficients gamma** **PP** **Surcharge, neige et vent**  
1,35 1,5

**Vent W** 5372,  
04 N/ml

Neige S	Pente		N/ml								Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml		
	1	2		Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2					
	1774,82	2535,45													
<b>G</b>	39957,13	44218,58	12930,64	3241,493	55230,95	46799,56	28204,47	15511,62	11263,05						
Charge d'exploitation I	Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2	Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml					
	14505	11415	8640	8640	44437,54	16778,88	38572,54	14003,88	0						

COMBINAISON	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
Neige S	0,5	0,2	0
Vent W	0,6	0,2	0

		Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2	Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	58572,77	59744,21	21570,64846	4554,588	10377,914	67689,08	66777,01	29515,51	11263,05	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	55891,50	57062,95	21570,64	4263,643	10109,78779	65007,81	66777,01	29515,51	11263,05	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	54462,13	55633,58	21570,64	4105,493	99668,50515	63578,44	66777,018	29515,51	11263,05	

ELS	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
Neige S	0,5	0,2	0
Vent W	0,6	0,2	0

		Mur A	Mur B	Mur porteur	Mur C	Mur A_2	Mur B_2,58	Mur port_2	Mur port_2, 58	Mur annexe	N/ml
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	42008,30	4310,493	15338,25	32765,03	73277,27	48592,68	46607,23	20826,01	8343	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	40220,79	4131,742	15338,25	30825,39	71489,76	46805,17	46607,23	20826,01	8343	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	39267,87	4036,450	15338,25	29771,06	70536,85	45852,26	46607,23	20826,01	8343	

### Descente de charges après rénovation : les façades/murs porteurs



**PLANCHER R+2**

L<sub>1</sub> ne vaut plus 5,31m car les têtes des solives sont coupées

SOLIVE (pp) N/m <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> [m]	L <sub>2</sub> [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	4,99	4,35	0,07	0,18	0,4	141,75

Poids volumique du bois

4500 N/m<sup>3</sup>

L<sub>1</sub> ne vaut plus 5,31m car les têtes des solives sont coupées

DOUBLAGE SOLIVE N/m <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> [m]	L <sub>2</sub> [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	4,99	4,35	0,035	0,18	0,4	70,87

Poids volumique du bois

4500 N/m<sup>3</sup>

PLANCHER (pp) N/m <sup>2</sup>	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	15,4	9,81	151,07

TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ]
	363,69

TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

CHARGES SUR MUR FACADE N/m	sur mur E	sur mur F	N/ml
	<b>1698,83</b>	<b>791,04</b>	
	<b>9342</b>	<b>4350</b>	

**PLANCHER R+1**

SOLIVE (pp) N/m <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> [m]	L <sub>2</sub> [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	4,992	4,35	0,07	0,18	0,4	141,75

Poids volumique du bois

4500 N/m<sup>3</sup>

DOUBLAGE SOLIVE N/m <sup>2</sup>	L <sub>1</sub> [m]	L <sub>2</sub> [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	4,99	4,35	0,035	0,18	0,4	70,87

Poids volumique du bois

4500 N/m<sup>3</sup>

PLANCHER (pp) N/m <sup>2</sup>	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	15,4	9,81	151,07

TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m <sup>2</sup>	P [N/m <sup>2</sup> ]
	363,69

TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

CHARGES SUR MUR FACADE N/m	sur mur E	sur mur F	N/ml
	<b>1698,83</b>	<b>791,04</b>	
	<b>9342</b>	<b>4350</b>	

**ANNEXE**

**Charges à prendre en compte**

VENT Voir explications 'Avant façade'

NEIGE	A [m]	Z	s <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	μ <sub>1</sub>	C <sub>e</sub>	C <sub>t</sub>	s <sub>n1</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	alpha [°]
	75	4,5	0,733	0,8	1	1	586,91	0

SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ]
	1500

TOITURE VERTE	Toiture		
	3000	N/m <sup>2</sup>	
	L_toit [m]	3,75	
Ossature FJI	P [N/m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	41,9	0,4	104,75
Isolant cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	500	0,36	180
TOTAL CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]	3284,75	
N/m <sup>2</sup>			
TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]	1500	
N/m <sup>2</sup>			
CHARGES SUR MUR FACADE	sur mur F	sur mur G	N/ml
	<b>6158,90</b>	<b>6158,90</b>	
	<b>2812,5</b>	<b>2812,5</b>	
N/m			

**MURS**  
MUR FACADE (pp)

CAVE	H_D [m]	ep_D [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP_D [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m]	H_E [m]	ep_E [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	PP_E [N/m <sup>2</sup> ]	P_E [N/m]
	2,16	0,34	18000	6120	13219	2,16	0,36	18000	6480	13996
REZ	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	H_D [m]	ep_D [m]	H_E [m]	ep_E [m]	H_F [m]	ep_F [m]	H_G [m]	ep_G [m]	
	18000	3,1	0,34	3,1	0,36	3,1	0,35	3,1	0,3	
	ρ_mur rideau [N/m <sup>3</sup> ]	PP_D [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m]	PP_E [N/m <sup>2</sup> ]	P_E [N/m]	PP_F [N/m <sup>2</sup> ]	P_F [N/m]	PP_G [N/m <sup>2</sup> ]	P_G [N/m]	
1000	6120	18972	6480	20088	6300	19530	300	930		
1ER ETAGE	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	H_D [m]	ep_D [m]	H_E [m]	ep_E [m]	H_F [m]	ep_F [m]			
	18000	3,43	0,34	3,07	0,23	3,07	0,34			
		PP_D [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m]	PP_E [N/m <sup>2</sup> ]	P_E [N/m]	PP_F [N/m <sup>2</sup> ]	P_F [N/m]			
		6120	20991,6	4140	12709	6120	18788			
MUR F 1er étage	FJI 240/58	P [N/ml]	H [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]				
		34,2	3,07	104,994	0,35	299,98				
Lattage	ρ_bois [N/m <sup>3</sup> ]	ep_bois [m]	b_bois [m]	entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]			
	3000	0,02	0,045	0,35	7,71	3,07	23,68			
Parement bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]					
	5000	0,02	100	3,07	307					
Sous-toiture Celit 4D	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]							
	59	3,07	181,13							
panneau en fibre de bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]					
	1800	0,06	108	3,07	331,56					

TOTAL	P [N/m]
MUR F	19931,75

2EME ETAGE	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	H E [m]	ep E [m]				
	18000	3,85	0,23				
		PP_E [N/m <sup>2</sup> ]	P_E [N/m]				
		4140	15939				
MUR F	FJI 240/58	P [N/ml]	H [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]	
	2ème étage	34,2	2,4	82,08	0,4	205,2	
Bois massif	P [N/m <sup>3</sup> ]	H [m]	l [m]	b [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]
	4500	2,4	0,18	0,058	112,752	0,4	281,88
Isolant cellulose	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]		
	500	0,42	210	2,4	504		
On néglige l'épaisseur de la structure FJI car son épaisseur (âme) est très faible							
Lattage	$\rho$ bois [N/m <sup>3</sup> ]	ep bois [m]	b bois [m]	entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	3000	0,02	0,045	0,4	6,75	2,4	16,2

Parement bois	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	5000	0,02	100	2,4	240
Sous-toiture Celit 4D	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]		
	59	2,4	141,6		
OSB	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	ep [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
	6000	0,02	120	2,4	288

TOTAL	P [N/m]
	1676,88

PP mur faç.	P_D [N/m]	P_E [N/m]	P_F [N/m]	P_G [N/m]	N/ml
	53182,8	62733,6	41138,63	930	

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	<b>Vent W</b>	0	N/ml			
	<b>Neige S</b>	Toit pente 0	<b>toit plat</b> 1100,45	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur D</b>	<b>Mur E</b>	<b>Mur F</b>	<b>Mur G</b>	N/ml
		53182,8	66131,27	49092,18	7088,90	
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur D</b>	<b>Mur E</b>	<b>Mur F</b>	<b>Mur G</b>	N/ml
		0	18684	11512,5	2812,5	
<b>ELU</b>	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>			
	GAMMA	1,35	1,5			
	<b>Vent W</b>	0	N/ml			
	<b>Neige S</b>	Toit pente 0	<b>toit plat</b> 1650,68	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur D</b>	<b>Mur E</b>	<b>Mur F</b>	<b>Mur G</b>	N/ml
		71796,78	89277,22	66274,44	9570,02	

		Charge d'exploitation I	Mur D	Mur E	Mur F	Mur G	N/ml
			0	28026	17268,75	4218,75	
COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
	Neige S	0,5	0,2	0			
	Vent W	0,6	0,2	0			
			Mur D	Mur E	Mur F	Mur G	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>		71796,78	117303,22	84368,53	14614,11	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>		71796,78	117303,22	83873,33	14118,91	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>		71796,78	117303,22	83543,19	13788,77	

ELS			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$		
COMBINAISON		Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3		
		Neige S	0,5	0,2	0		
		Vent W	0,6	0,2	0		
				Mur D	Mur E	Mur F	Mur G
<b>A. Combinaison d'actions</b>	<b>S dominante</b>		53182,8	84815,27	61705,14	10451,63	
<b>B. Combinaison fréquente</b>	<b>S dominante</b>		53182,8	84815,27	61705,14	10121,49	
<b>C. Combinaison quasi permanente</b>	<b>S dominante</b>		53182,8	84815,27	61705,14	9901,40	

### C. Descentes de charges Maison en cœur d'îlot | Schaerbeek

#### Descente de charges après rénovation

La descente de charge est centrée uniquement sur les murs NE et SO (donc les murs B et C) car ce sont ces derniers qui reprennent les charges des planchers et une grande partie de la toiture. Hypothèse: Ne pas prendre en compte les murs existants car ils sont totalement désolidarisés de la nouvelle structure.

		TOITURE						
CHEVRONS	L toiture [m]	b [m]	h [m]	alpha [°]	Entraxe [m]	P vol [N/m³]	P [N/m²]	
	3,18	0,042	0,4	45	0,6	4500	126	

PANNEAU FIBRE DE BOIS

P vol [N/m³]	ep [m]	P [N/m²]
1800	0,12	216

Hypothèse: négliger le poids des lattes et contre lattes entre les panneaux car plus faible par rapport à celui des panneaux en fibre de bois.

ISOLANT	P vol [N/m³]	ép [m]	P [N/m²]
CELLULOSE	500	0,4	200

50 kg/m³

PANNEAU	P vol [N/m³]	ép [m]	P [N/m²]
DWD	5600	0,016	89,6

CONTRE LATTES	L [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m²]
	3,18	0,044	0,03	0,3	13,2

LATTES	L [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m²]
	11,54	0,03	0,018	0,3	5,4

moyenne des deux côtés

Poids volumique des lattes et contre lattes  
3000 N/m³

TUILES	P [N/m <sup>2</sup> ]					
	495,5					
49,55 kg/m <sup>3</sup>						
LATTAGE	L [m]	b [m]	h [m]	alpha [°]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	11,54	0,028	0,05	45	0,3	14

<b>Charges à prendre en compte</b>							
NEIGE	A [m]	Z	s_k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ_45°	C_e	C_t	s_n [N/m <sup>2</sup> ]
	75	4,5	0,73	0,4	1	1	293,45
SURCHARGE (ENTRETIEN)	s_e [N/m <sup>2</sup> ]						
	2000						
alpha 45							
VENT	Pression			Pr. Alpha			
	550,7049425			778,8143985			
N/m <sup>2</sup>			N/m <sup>2</sup>				

### Calcul de vent

#### Vent :

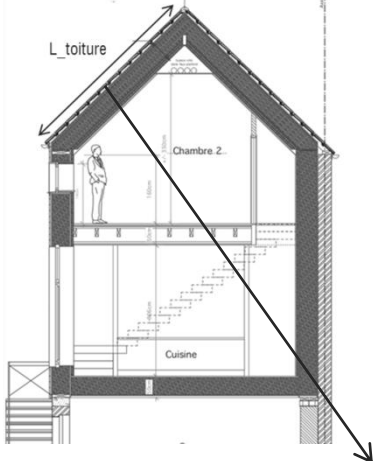
Vb	26,2 m/s	(vitesse moyenne du vent en Belgique)
Vm	15,255 m/s	(vitesse moyenne du vent à une hauteur z) formule : Cr * C0 * Vb
Cr	0,582	formule : kr * ln(Z/Z0) car Zmin ≤ Z ≤ Zmax
C0	1	car terrain relativement plat
qb	429,025 N/m <sup>2</sup>	(1/2) * ρ air * Vb <sup>2</sup> = pression dynamique de référence
qm	145,463 N/m <sup>2</sup>	formule : (1/2) * ρ air * Vm <sup>2</sup>
ρ air	1,25 Kg/m <sup>3</sup>	
Z	12 m	Z est la distance entre le sol et le sommet du toit
kr	0,234	formule : 0,19*(Z0/0,05) ^ 0,07
Z0	1 m	car catégorie de terrain n°4
Zmin	10 m	car catégorie de terrain n°4
qp	669,708 N/m <sup>2</sup>	formule : [1 + 7*lv]*qm = Ce * qb
Ce	1,561 m	

#### Toiture - coefficient de pression extérieur

Pression aérodynamique sur paroi (intérieur), formule : qp \* Cpi = Wi  
Pression aérodynamique sur paroi (extérieur), formule : qp \* Cpe = We

(+) correspond à une surpression (flèche de l'intérieur vers l'extérieur)  
(-) correspond à une dépression (flèche de l'extérieur vers l'intérieur)

alpha [°]							
45							
		Cp,e	qp	We	Wi	We-Wi	
<b>F</b>	45	X_1= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	535,76642	<b>-535,7664</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	X_2= 0,7	669,708025	<b>468,79562</b> N/m <sup>2</sup>	-334,854013	<b>803,64963</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>G</b>	45	X_1= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	535,76642	<b>-535,7664</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	X_2= 0,7	669,708025	<b>468,79562</b> N/m <sup>2</sup>	-334,854013	<b>803,64963</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>H</b>	45	X_1= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	535,76642	<b>-535,7664</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	X_2= 0,6	669,708025	<b>401,82482</b> N/m <sup>2</sup>	-334,854013	<b>736,67883</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>I</b>	30	X_1= -0,4	669,708025	<b>-267,8832</b> N/m <sup>2</sup>	535,76642	<b>-803,6496</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,4	X_2= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-334,854013	<b>334,85401</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>J</b>	30	X_1= -0,5	669,708025	<b>-334,854</b> N/m <sup>2</sup>	535,76642	<b>-870,6204</b> N/m <sup>2</sup>	
	-0,5	X_2= 0	669,708025	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-334,854013	<b>334,85401</b> N/m <sup>2</sup>	
	0						

Coefficient de pression intérieur			Calcul de la pression et de la dépression moyennes			
Cp,i	qp	Wi	Ce calcul est basé sur une moyenne pondérée par les surfaces des zones			
-0,5	669,708025	<b>-334,854</b> N/m <sup>2</sup>	Formule générale: (We-Wi)*S/S_totale			
0,8	669,708025	<b>535,76642</b> N/m <sup>2</sup>		<b>S m<sup>2</sup></b>	<b>S totale</b>	
			<b>S_F</b>	4,7817	85,7459	-29,8775136
					85,7459	44,8162703
			<b>S_G</b>	9,5634	85,7459	-59,7550271
					85,7459	89,6325407
			<b>S_H</b>	23,7461	85,7459	-148,372843
					85,7459	204,01266
<b>S_I</b>	23,7461	85,7459	-222,559265			
		85,7459	92,7330271			
<b>S_J</b>	19,1269	85,7459	-194,204854			
		85,7459	74,6941744			
			<b>We + Wi moyen</b>			
					-684,647016 N/m <sup>2</sup>	
					<b>550,70494</b> N/m <sup>2</sup>	

**Calcul des charges amenées par la toiture sur les murs et colonnes**

PANNES (PP)	L [m]	b [m]	h [m]	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	P [N/m]
1 panne et 1 sablière	11,54	0,1	0,4	4500	180

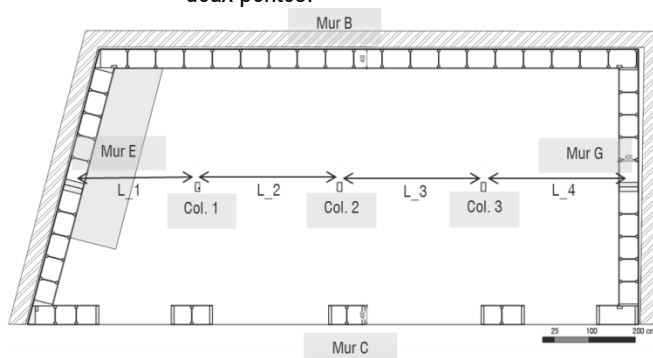
CHARGES TOIT PERMANENTES	Couverture 1843,923	N/m	TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION	Couverture 3180	N/m
	P total * L/2			N/m	

où P total = chevrons + cellulose + panneau DWD +, ...

P de vent repris par mur B/C et par faîtière [N/m]	P neige repris par mur B/C et par faîtière [N/m]	L_toiture	L_1	L_2	L_3	L_4
1238,314894	466,594882	3,18	2,75	3	3	3,15

CHARGES LIN. ou ponct. DE TOITURE SUR MUR MITOYEN ET COLONNES	MUR E [N]	COL.1 [N]	COL.2 [N]	COL.3 [N]	MUR G [N]	MUR B [N/m]	MUR C [N/m]	
	Vent:	<b>5565,78</b>	11637,55	12143,53	12447,12	<b>6375,35</b>	<b>2023,92</b>	<b>2023,92</b>
		<b>8745</b>	18285	19080	19557	<b>10017</b>	<b>3180</b>	<b>3180</b>
	Neige:	3405,36	7120,31	7429,88	7615,63	3900,69	<b>1238,31</b>	<b>1238,31</b>
	1283,13	2682,92	2799,56	2869,55	1469,773	<b>466,59</b>	<b>466,59</b>	

\* 2 pour les murs E et G et les colonnes car ils supportent les deux pentes.



**MUR MITOYEN**

**Charges du au poids du mur au pied du mur du 1er étage**

MURS		P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
B, G, E	Panneau DWD	5600	0,016	89,6	5,7	510,72
		560 kg/m <sup>3</sup>				
	Steico-wall 60X400mm	P [N/ml]	H [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]
		45	5,7	256,5	0,5	513
		4,5 kg/ml				
	Isolant cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
		500	0,4	200	5,7	1140
		50 kg/m <sup>3</sup> On néglige l'épaisseur de la structure steico-wall car son épaisseur (âme) est très faible				
	OSB	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
		6000	0,018	108	5,7	615,6
	Isolant cellulose projetée	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]
		500	0,06	30	5,7	171
		50 kg/m <sup>3</sup>				

Attention! Au lieu de considérer le poids de la poutre composée sur le mur, hypothèse: plancher continu jusqu'à l'extrémité de la paroi

MUR C	Parement bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]	
		5000	0,02	100	5,7	570	
	Latte	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	H [m]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m]
		3000	5,7	0,02	0,05	0,5	34,2
	Panneau DWD	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]	
		5600	0,016	89,6	5,7	510,72	
		560 kg/m <sup>3</sup>					
	Steico-wall 60X400mm	P vol[N/ml]	H [m]	P [N]	Entraxe [m]	P [N/m]	
		45	5,7	256,5	0,5	513	
		4,5 kg/ml					
	Isolant cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]	
		500	0,4	200	5,7	1140	
		50 kg/m <sup>3</sup> On néglige l'épaisseur de la structure steico-wall car son épaisseur (âme) est très faible					
	OSB	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]	
		6000	0,018	108	5,7	615,6	
	Isolant cellulose projetée	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	H [m]	P [N/m]	
		500	0,06	30	5,7	171	
		50 kg/m <sup>3</sup>					
	<b>CHARGES LINEAIRES</b>	<b>MUR B</b>	<b>MUR G</b>	<b>MUR E</b>	<b>MUR C</b>	<b>N/ml</b>	
		<b>2950,32</b>	<b>2950,32</b>	<b>2950,32</b>	<b>3554,52</b>		

**PLANCHER R+2**

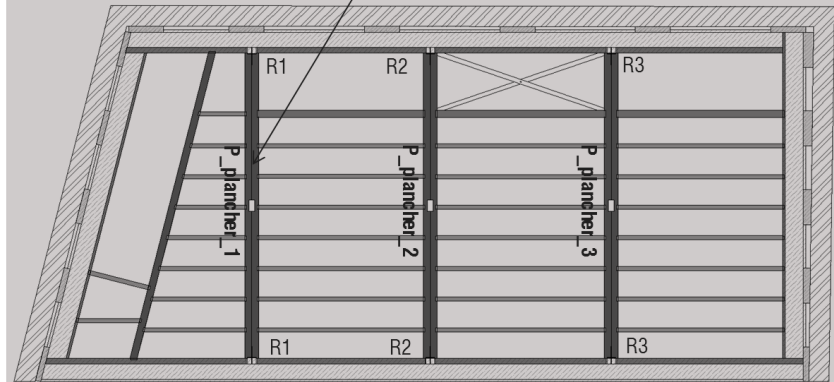
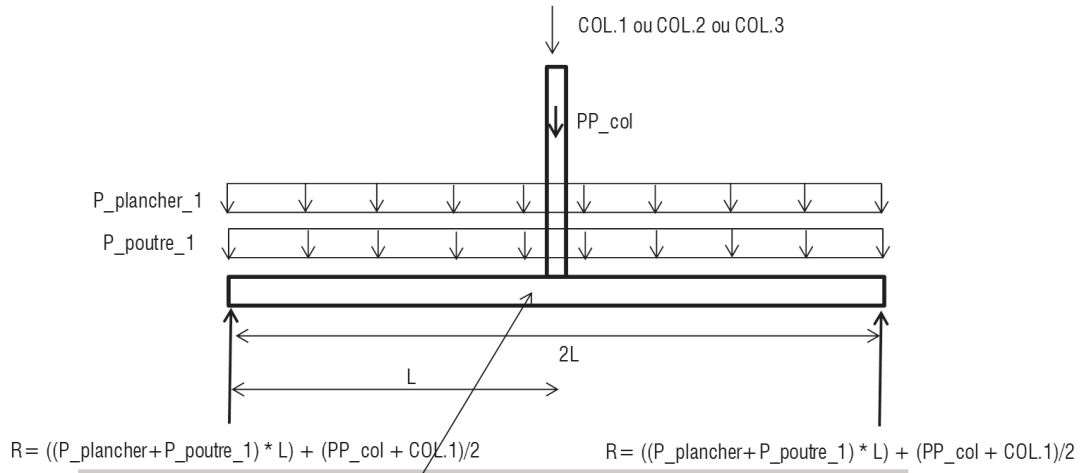
CHARGES LIN. DE TOITURE SUR COLONNES INTERIEURES	COL.1 [N]	COL.2 [N]	COL.3 [N]	PP COLONNE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	H [m]	h [m]	b [m]	P [N]
	<b>11637,55</b>	<b>12143,53</b>	<b>12447,12</b>	GL24h 100X200mm	5000	4,25	0,02	0,01	<b>4,25</b>
	<b>18285</b>	<b>19080</b>	<b>19557</b>						
	7120,31	7429,88	7615,63						
	2682,92	2799,569	2869,55						



Plancher R+2					
SOLIVE	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	5000	0,194	0,072	0,524	133,282443
PLANCHER	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	15,4	9,81	151,074		
SOMME CHARGES PERMANENTES	P [N/m <sup>2</sup> ]			CHARGE D'EXPLOITATION	s [N/m <sup>2</sup> ]
	284,3564427			2000	
P_PLANCHER N/m	P_PLANCHER 1	P_PLANCHER 2	P_PLANCHER 3		
	<b>817,52</b>	<b>853,069</b>	<b>874,39</b>	(perman.)	
	<b>5750</b>	<b>6000</b>	<b>6150</b>	(exploit.)	
POUTRE GL24H 2X120X400	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	L [m]	h [m]	b [m]	P [N/m]
	5000	2,9	0,4	0,24	<b>480</b>

$P = P_{vol} * h * b$

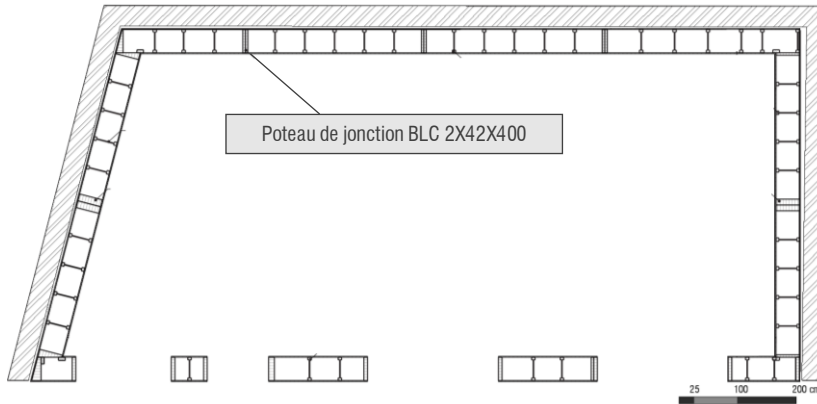
Calcul de R des appuis				
FORMULE DE R	R 1	R 2	R 3	
	<b>9583,72</b>	<b>9939,79</b>	<b>10153,43</b>	N
	<b>25817,5</b>	<b>26940</b>	<b>27613,5</b>	N
	Vent: <b>3560,15</b>	Vent: <b>3714,94</b>	Vent: <b>3807,81</b>	N
	Neige: <b>1341,46</b>	Neige: <b>1399,78</b>	Neige: <b>1434,77</b>	N



Plan du plancher du R+2

Les schémas indiquent que les colonnes et les solives (et le plancher aussi) sont reprises par les poutres GL24H. Ces poutres sont fixées aux poteaux de jonction en bois lamellé collé et les charges descendent directement jusqu'aux murs de cave en maçonnerie.

Hypothèse: même principe pour le mur C



Plan du mur du R+1

**PLANCHER R+1**

Ce plancher n'a pas une structure identique à celui du R+2.

Le plus logique en terme de descentes de charge est faire l'hypothèse que les éléments répartissent leurs charges uniformément sur le mur vertical

<b>STEICO JOIST</b>	P vol[N/m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]			panneau en fibre de bois	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	51	0,516	98,83				1800	0,06	108			
<b>POUTRE GL24H 100X400</b>	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	h [m]	b [m]	Entraxe [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	OSB	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ep[m]	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	5000	0,4	0,1	3	66,66		6000	0,01	60			
<b>PLANCHER</b>	P [kg/m <sup>2</sup> ]	g [m/s <sup>2</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]			Isolant cellulose	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]			
	15,4	9,81	151,07				500	0,4	200			
<b>TOTAL CHARGES PERMANENTE S</b>	P [N/m <sup>2</sup> ]	2L [m]					Panneau	P vol[N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	740,5778	5,8						DWD	5600	0,01	56	
N/m <sup>2</sup>												
<b>TOTAL CHARGES D'EXPLOITATIO N</b>	s [N/m <sup>2</sup> ]											
N/m <sup>2</sup>	2000											
<b>CHARGES SUR MUR</b>	Sur mur B	Sur mur C										
N/m	<b>2147,67</b>	<b>2147,67</b>										
N/m	<b>5800</b>	<b>5800</b>										

**CAVE**

**Poids linteaux**

3 linteaux HEA 140	P [N/m]	Nombre	Total = P*nbre	L_1 [m]	L_2 [m]	L_3 [m]	L_4 [m]	L_5 [m]
Voir étude du cas	247	3	741	1,4	3	3	3	1,4
	[N/m]							

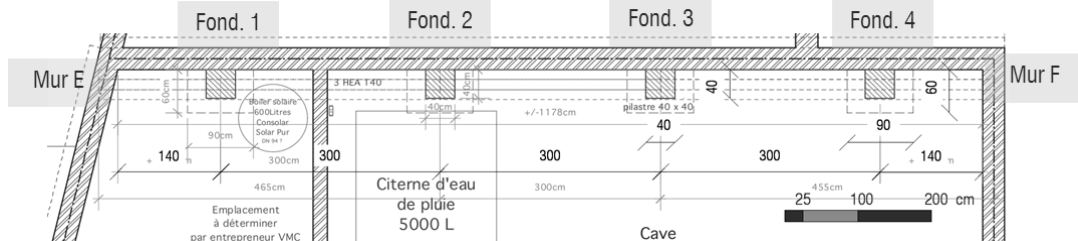
**Charges sur nouvelles colonnes en maçonnerie menant aux fondations**

Les charges ponctuelles de "calcul de R des appuis" ne correspondent pas exactement à l'emplacement des colonnes mais

hypothèse: considérer que P\_plancher\_1 correspond à Fond.1, P\_plancher\_2 à Fond.2 et P\_plancher\_3 correspond à Fond.3

Il n'y a donc pas de charge ponctuelle qui 'tombe' sur Fond.4

POIDS PONCTUEL SUR COLONNE	Fond.1 [N]	Fond.2 [N]	Fond.3 [N]	Fond.4 [N]	Mur E [N]	Mur F [N]	
	26882,14	33528,55	33742,19	17298,42	5504,04	5504,04	(perman.)
	45573,5	53880	54553,5	19756	6286	6286	(exploit.)
	6284,44	7429,88	7522,76	2724,29	866,82	866,82	(Vent)
							(Neige)
	2367,96	2799,56	2834,56	1026,50	326,61	326,61	



## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION							
	Vent W	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	6284,44	7429,88	7522,76	2724,29	866,82	866,82	
	Neige S	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	2367,96	2799,56	2834,56	1026,50	326,61	326,61	
	G	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	26882,14	33528,55	33742,19	17298,42	5504,04	5504,04	
	Charge d'exploitation I	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	45573,5	53880	54553,5	19756	6286	6286	
GAMMA	Coefficients gamma		Surcharge, neige et vent				
		PP					
		1,35	1,5				
	Vent W	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	9426,67	11144,83	11284,14	4086,43	1300,23	1300,23	
	Neige S	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	3551,95	4199,35	4251,84	1539,76	489,92	489,92	
	G	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	36290,89	45263,54	45551,96	23352,86	7430,45	7430,45	
	Charge d'exploitation I	Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
	68360,25	80820	81830,25	29634	9429	9429	
ELU							
COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
	Neige S	0,5	0,2	0			
	Vent W	0,6	0,2	0			
		Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	112083,1	134870,1	136278,6	56208,6	17884,5	17884,5

<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	107246,8	129152,3	130489,4	54112,10	17217,48	17217,48
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	104651,1	126083,5	127382,2	52986,86	16859,45	16859,45

Ces charges ponctuelles sont relatives au mur B. Le mur C a des charges linéaires le long du mur de la cave (au rez-de-chaussée) et trois charges ponctuelles venant du plancher du R+2. Ces dernières vont se répartir dans la maçonnerie de cave suivant un angle de 30° par rapport à la verticale. Charges linéaires du mur C:

5578,443 (perman.)  
3180 (exploit.)  
1238,314894 (Vent)  
466,594882 (Neige)

Les charges ponctuelles sont celles données dans le tableau avant la "descente de charges".

ELS							
COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
	Neige S	0,5	0,2	0			
	Vent W	0,6	0,2	0			

		Fond.1	Fond.2	Fond.3	Fond.4	Mur E	Mur F
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	77410,30	93266,26	94226,63	39202,25	12473,44	12473,44
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	74186,1	89454,44	90367,15	37804,58	12028,73	12028,73
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	72455,64	87408,55	88295,69	37054,42	11790,04	11790,04

## D. Descentes de charges Logement collectif semi-mitoyen | Etterbeek

### Descente de charges avant rénovation : les murs mitoyens/pignons

Hypothèse: les charges du mur mitoyen et du mur pignon sont identiques. En réalité, ce n'est pas le cas car il faut considérer d'éventuelles charges transmises par la maison voisine et les annexes qui sont implantées à côté du mur pignon.

TOITURE			
Hypothèse: ne pas considérer la petite toiture plate. Elle sera calculée comme si c'était un plancher dans la descente de charge des façades.			
<b>Charges à prendre en compte</b>		Alpha_1 28	Hypothèse: considérer le même angle: 30°
		Alpha_2 30	
TOITURE	L [m]	SURCHARGE (ENTRETIEN)	s_e [N/m²]
	P_toit [N/m²]		2000
	6,3		
	600		
L = portée entre les deux murs mitoyens			
CHARGE LINEAIRE	P_toit [N/m]		
	3780		
	6300		
Alpha 30			
VENT	Pression	Pr. Alpha	<b>P vent repris par chaque mitoyen</b>
	489,08	564,74	<b>1778,94</b>
	N/m²	N/m²	N/m

NEIGE	A [m]	Z	s_k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ_30°	C_e	C_t	s_n [N/m <sup>2</sup> ]
	94	4,5	0,753308489	0,8	1	1	602,64
							<b>P neige repris par chaque mitoyen</b>
N/m							<b>1898,33</b>

**Calcul du vent :**

négliger la présence des annexes par rapport au vent

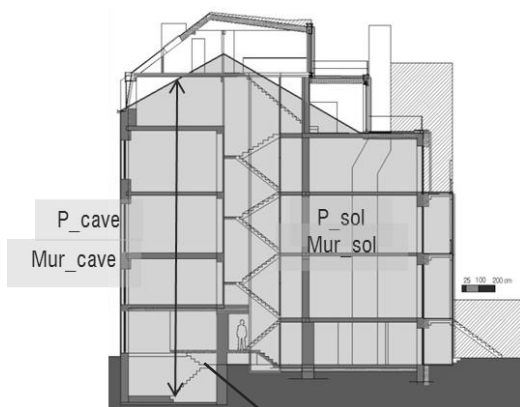
VENT POUR θ = 0°		Toiture - coefficient de pression extérieur				
		alpha [°]	qp	We	Wi	We-Wi
<b>F</b>	30					
	-0,5	688,58	<b>-344,29</b> N/m <sup>2</sup>	550,86	<b>-895,16</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,7	688,58	<b>482,00</b> N/m <sup>2</sup>	-344,29	<b>826,30</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>G</b>	30					
	-0,5	688,58	<b>-344,29</b> N/m <sup>2</sup>	550,86	<b>-895,16</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,7	688,58	<b>482,00</b> N/m <sup>2</sup>	-344,29	<b>826,30</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>H</b>	30					
	-0,2	688,585	<b>-137,71</b> N/m <sup>2</sup>	550,86	<b>-688,58</b> N/m <sup>2</sup>	
	0,4	688,58	<b>275,43</b> N/m <sup>2</sup>	-344,29	<b>619,72</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>I</b>	30					
	-0,4	688,58	<b>-275,43</b> N/m <sup>2</sup>	550,86	<b>-826,30</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	688,58	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-344,29	<b>344,29</b> N/m <sup>2</sup>	
<b>J</b>	30					
	-0,5	688,58	<b>-344,29</b> N/m <sup>2</sup>	550,86	<b>-895,16</b> N/m <sup>2</sup>	
	0	688,58	<b>0</b> N/m <sup>2</sup>	-344,29	<b>344,29</b> N/m <sup>2</sup>	

Coefficient de pression intérieur		
Cp,i	qp	Wi
-0,5	688,58	<b>-344,29</b> N/m <sup>2</sup>
0,8	688,58	<b>550,86</b> N/m <sup>2</sup>

**Calcul de la pression et de la dépression moyenne**

Ce calcul est basé sur une moyenne pondérée par les surfaces des zones  
Formule générale: (We+Wi)\*S/S totale

	S m <sup>2</sup>	S_totale	
<b>S_F</b>	0,99	115,47	-7,67
		115,47	7,08
<b>S_G</b>	1,98	115,47	-15,34
		115,47	14,16
<b>S_H</b>	53,77	115,47	-320,64
		115,47	288,58
<b>S_I</b>	53,77	115,47	-384,77
		115,47	160,32
<b>S_J</b>	3,97	115,47	-30,77
		115,47	11,83
<b>We+Wi moyen</b>			-766,90 N/m <sup>2</sup>
			<b>489,08</b> N/m <sup>2</sup>



**MUR MITOYEN/PIGNON**  
**Dimensions et poids**

Les murs font 25 cm d'épaisseur en moyenne

MUR MITOYEN	H_cave[m]	H_sol[m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	ep_mur [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
	18,4	15,5	16000	0,25	4000

**Calcul du poids du mur au pied de chaque mur mitoyen**

CHARGES	P cave[N/m]	P sol[N/m]	Formule: Poids [N/m²]*H
	<b>73600</b>	<b>62000</b>	

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	<b>Vent W :</b> 1778,941564 N/ml <b>Neige S :</b> <b>Pente</b> N/ml 1898,337391 <b>G :</b> <b>Mur_cave</b> <b>Mur_sol</b> N/ml 77380 65780 <b>Charge d'exploitation I :</b> <b>Mur_cave</b> <b>Mur_sol</b> N/ml 6300 6300			
<b>ELU</b>				
GAMMA	<b>Coefficients gamma :</b> <b>PP</b> <b>Surcharge, neige et vent</b> 1,35 1,5 <b>Vent W :</b> 2668,412346 N/ml <b>Neige S :</b> <b>Pente 1</b> N/ml 2847,506087 <b>G :</b> <b>Mur_cave</b> <b>Mur_sol</b> N/ml 104463 88803 <b>Charge d'exploitation I :</b> <b>Mur_cave</b> <b>Mur_sol</b> N/ml 9450 9450			
COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		<b>Mur_cave</b>	<b>Mur_sol</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	116937,80	101277,80	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	115016,18	99356,18	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	113913	98253	

Remarque: L'action prise comme dominante est la surcharge d'exploitation et non la neige ou le vent car cette dernière a une valeur plus importante que les autres. Elle n'est donc pas affectée d'un coefficient  $\psi$ .

<b>ELS</b>		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
COMBINAISON	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0
		<b>Mur_cave</b>	<b>Mur_sol</b>	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	85696,53	74096,53	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	84415,45	72815,45	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	83680	72080	

### Descente de charges avant rénovation : les façades/les murs porteurs

PLANCHERS R+4 à R (voir dessin ci-dessous)							
SOLIVE (pp) N/m²	L 1 [m]	L 2 [m]	L 3 [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m²]
	6,35	5	6,9	0,06	0,18	0,5	97,2
Poids volumique du bois 4500 N/m³							
PLANCHER (pp) N/m²	P [kg/m²]	g [m/s²]	P [N/m²]				
	15,4	9,81	151,074				
TOTAL CHARGES PERMANENTES N/m²	P [N/m²]		TOTAL CHARGES D'EXPLOITATION N/m²		s [N/m²]		
	248,274		2000				
	sur mur A	sur mur B	sur mur C	sur mur D			

CHARGES SUR MUR FACADE				
PL/2	<b>3941,34975</b>	<b>9621,00</b>	<b>5908,92</b>	<b>3426,18</b>
	<b>31750</b>	<b>32700</b>	<b>47600</b>	<b>27600</b>

N/ml

Formule: PL/2

Il faut en plus faire \*5 pour le mur A et \*4 pour les murs C et D.

Pour le mur B, il faut faire \*4 + Pplancher\*L<sub>1</sub>/2

Les planchers contre le sol n'interviennent pas dans la descente de charge.

**MURS FACADES ET PORTEURS**

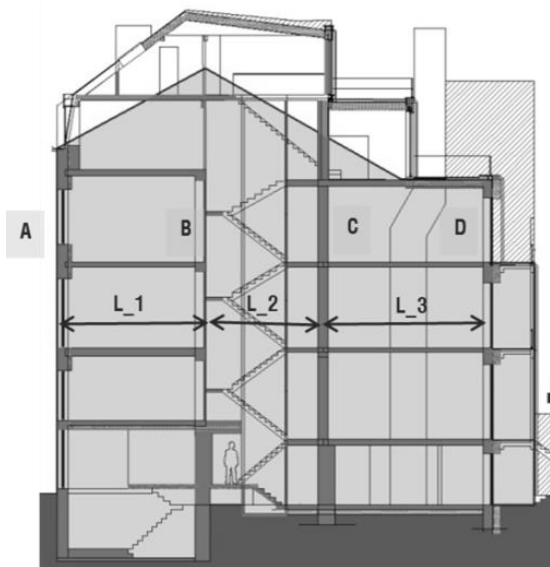
**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN	ep_A [m]	ep_B [m]	ep_C [m]	ep_D [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]
	0,7	0,63	0,65	0,42	16000
	P_A [N/m <sup>2</sup> ]	P_B [N/m <sup>2</sup> ]	P_C [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m <sup>2</sup> ]	
	11200	10080	10400	6720	
	H_A	H_B	H_C	H_D	
	16,75	20	15,52	13,58	
CHARGES	P_A [N/m]	P_B [N/m]	P_C [N/m]	P_D [N/m]	

**MURS FACADES ET PORTEURS**

**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN	ep_A [m]	ep_B [m]	ep_C [m]	ep_D [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]
	0,7	0,63	0,65	0,42	16000
	P_A [N/m <sup>2</sup> ]	P_B [N/m <sup>2</sup> ]	P_C [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m <sup>2</sup> ]	
	11200	10080	10400	6720	
	H_A	H_B	H_C	H_D	
	16,75	20	15,52	13,58	
CHARGES	P_A [N/m]	P_B [N/m]	P_C [N/m]	P_D [N/m]	
	<b>187600</b>	<b>201600</b>	<b>161408</b>	<b>91257,6</b>	
	<b>187600</b>	<b>201600</b>	<b>161408</b>	<b>91257,6</b>	



## DESCENTE DE CHARGES

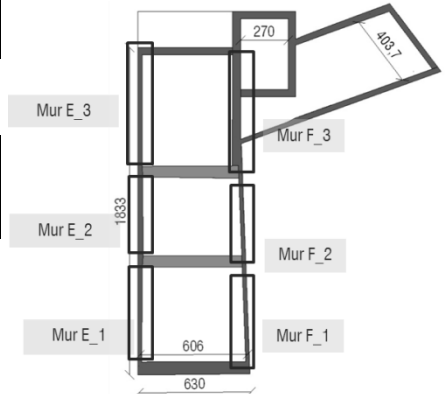
CHARGES SUR FONDATION		<b>Vent W</b>	0	N/ml				
		<b>Neige S Toit pente</b>	0	N/ml				
		<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		N/ml
			191541,34	211221,01	167316,92	94683,78		
<b>ELU</b>		<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		N/ml
			31750	32700	47600	27600		
GAMMA		<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>				
			1,35	1,5				
		<b>Vent W</b>	0	N/ml				
		<b>Neige S Toit pente</b>	0	N/ml				
		<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		N/ml
			258580,82	285148,36	225877,84	127823,10		
		<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		N/ml
			47625	49050	71400	41400		
COMBINAISON			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
		Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
		Neige S	0,5	0,2	0			
		Vent W	0,6	0,2	0			
			<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		
<b>A.</b>		<b>S dominante</b>	306205,82	334198,36	297277,84	169223,10		
<b>ELS</b>			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
COMBINAISON		Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
		Neige S	0,5	0,2	0			
		Vent W	0,6	0,2	0			
			<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>		
<b>A.</b>		<b>S dominante</b>	223291,35	243921,01	214916,921	122283,781		

### Descente de charges après rénovation : les murs mitoyens/pignons

<b>TOITURE</b>					
Hypothèse: considérer les deux toitures plates comme une seule toiture.					
<b>Charges à prendre en compte</b>					
PANNES (PP)	L [m]	b [m]	h [m]	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	6,3	0,15	0,3	4500	1350
L = portée entre les deux murs mitoyens					
Ossature FJl	L [m]	b [m]	h [m]	Entraxe [m]	P [N/m]
	6,3	0,058	0,36	0,6	41,9
4,19 kg/m					
ISOLANT CELLULOSE	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	500	0,36	180		



SOUS TOITURE CELIT 4D	P [N/m <sup>2</sup> ]	SURCHARGE (ENTRETIEN)	s e [N/m <sup>2</sup> ]
	59		2000
TUILES	P [N/m <sup>2</sup> ]		
	500		
CHARGE LINEAIRE	P de la toiture repris par murs E_1, E_2, F_1 et F_2 [N/m]		
	6800,325		
	6300		
N/m			



VENT double pente	Alpha 1 37	Alpha 2 7	P vent repris par murs E_1, E_2, F_1 et F_2 [N/m]	
	Pression	Pr. Alpha 1	Pr. Alpha 2	2685,62
		N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m

VENT toiture plate	Pression	P vent repris par murs E_3 et F_3 [N/m]	N/m
	143,71	452,68	
		N/m <sup>2</sup>	

NEIGE double pente	A [m]	Z	s k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ 37° (pente1)	μ 7° (pente2)	C e	C t	s n 1 [N/m <sup>2</sup> ]	s n 2 [N/m <sup>2</sup> ]
	94	4,5	0,753308489	0,613333333	0,8	1	1	462,0292063	602,6467909

P neige repris par murs E_1 et F_1 [N/m]	P neige repris par murs E_2 et F_2 [N/m]
1455,392	1898,337391
N/m	

NEIGE toiture plate	A [m]	Z	s k [kN/m <sup>2</sup> ]	μ 0°	C e	C t	s n [N/m <sup>2</sup> ]
	94	4,5	0,753308489	0,8	1	1	602,6467909
							P neige repris par murs E_3 et F_3
							1898,337391
							[N/m]

**MUR MITOYEN/PIGNON**  
**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN	H 1 [m]	H 2 [m]	H 3 [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	ep_mur [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
	20	19	17	16000	0,25	4000
16000 N/m <sup>3</sup>						

Isolant pignon F	H moyen du mur F [m]	P vol [N/m <sup>3</sup> ]	ép [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]
	16,5	500	0,3	150

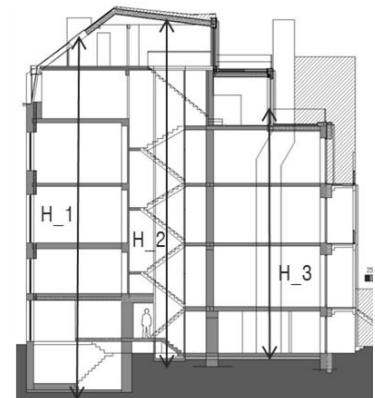
**Calcul du poids du mur au pied de chaque partie de mur mitoyen/pignon**

CHARGES	P E 1 [N/m]	P E 2 [N/m]	P E 3 [N/m]
	80000	76000	68000
	P F 1 [N/m]	P F 2 [N/m]	P F 3 [N/m]
	82475	78475	70475

POUTRAIN CLAVEAUX	PLANCHER	
	Poids [N/m <sup>2</sup> ]	L [m]
		2190
		6,3

Donnée constructeur: comprend le poids des entevous, des claveaux et de la dalle coulée

SURCHARGE	s e [N/m <sup>2</sup> ]
	2000

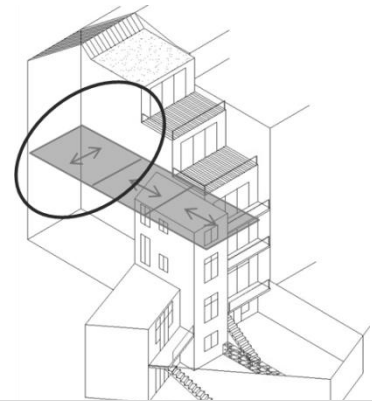


CHARGES

P E 1 [N/m]	P F 1 [N/m]
<b>41391</b>	<b>41391</b>
<b>37800</b>	<b>37800</b>

Formule: PL/2

Il faut en plus faire \*6 pour les murs E\_1 et F\_1



DESCENTE DE CHARGES

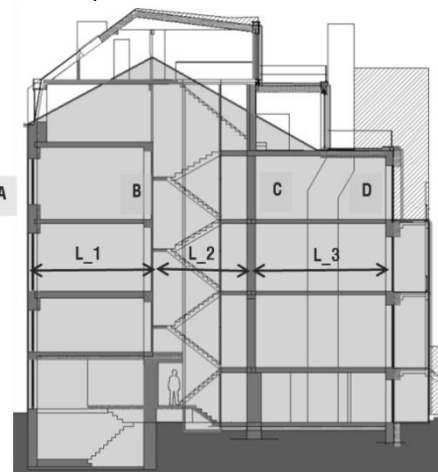
ELU		Pente	Toit plat					
CHARGES SUR FONDATION	Vent W	2685,62	452,68	N/ml				
	Neige S	Pente_1 1455,39	Pente_2 1898,33	Toit plat 1898,33	N/ml			
	G	M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]	N/ml
		128191,3 2	82800,32	68000	130666,3 2	85275,32	70475	
Charge d'exploitation I	M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]	N/ml	
	44100	6300	0	44100	6300	0		
GAMMA	Coefficients gamma	PP 1,35	Surcharge, neige et vent					
			1,5					
	Vent W	Pente 4028,43	Toit plat 679,03	N/ml				
	Neige S	Pente_1 2183,08	Pente_2 2847,50	Toit plat 2847,50	N/ml			
G	M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]	N/ml	
	173058,2 8	111780,4 3	91800	176399,5 3	115121,6 8	95141,25		
Charge d'exploitation I	M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]	N/ml	
	66150	9450	0	66150	9450	0		
COMBINAISON		ψ_0	ψ_1	ψ_2				
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3				
	Neige S	0,5	0,2	0				
	Vent W	0,6	0,2	0				
		M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]	
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	242716,8	125071,2	93631,1	246058,1	128412,5	96972,4	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	240450,5	122605,6	92505,30	243791,8	125946,8	95846,5	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	239208,2	121230,4	91800	242549,5	124571,6	95141,2	

ELS		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$			
COMBINAIS ON	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3			
	Neige S	0,5	0,2	0			
	Vent W	0,6	0,2	0			
		M_E_1 [N/m]	M_E_2 [N/m]	M_E_3 [N/m]	M_F_1 [N/m]	M_F_2 [N/m]	M_F_3 [N/m]
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	174630,3	91660,8	69220,7	177105,3	94135,8	71695,7
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	173119,5	90017,1	68470,2	175594,5	92492,1	70945,2
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	172291,3	89100,3	68000	174766,3	91575,3	70475

### Descente de charges après rénovation : les façades/les murs porteurs

PLANCHERS R+4 à R			
LONGUEUR	L_2 [m]	L_3 [m]	
	5	6,9	
Poids volumique du bois 4500 N/m <sup>3</sup>			
POUTRAINS CLAVEAUX N/m <sup>2</sup>	Poids [N/m <sup>2</sup> ]	EXPLOITATION N/m <sup>2</sup>	s [N/m <sup>2</sup> ]
	2190		2000
CHARGES SUR MUR FACADE PL/2		sur mur B	sur mur C
		<b>27375</b>	<b>57597</b>
	Formule: PL/2		sur mur D
	Les charges sont multipliées en fonction du nombre de planchers repris par le mur porteur.		<b>30222</b>
			<b>27600</b>

MURS FACADES ET PORTEURS				
MUR MITOYEN	Dimensions et poids $\rho=16000$			
	ep_A [m]	ep_B [m]	ep_C [m]	ep_D [m]
	0,7	0,63	0,65	0,42
	P_A [N/m <sup>2</sup> ]	P_B [N/m <sup>2</sup> ]	P_C [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m <sup>2</sup> ]
	11200	10080	10400	6720
	H_A	H_B	H_C	H_D
	16,75	20	15,52	13,58
CHARGES	P_A [N/m]	P_B [N/m]	P_C [N/m]	P_D [N/m]
	<b>187600</b>	<b>201600</b>	<b>161408</b>	<b>91257,6</b>
ISOLANT POLYSTYRENE	ep_A [m]	ep_D [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	
	0,13	0,3	300	
	P_A [N/m <sup>2</sup> ]	P_D [N/m <sup>2</sup> ]		
	39	90		
	H_A	H_D		
	16,75	13,58		
	P_A [N/m]	P_D [N/m]		
	653,25	1222,2		
CHARGES	P_A [N/m]	P_B [N/m]	P_C [N/m]	P_D [N/m]
	<b>188253,25</b>	<b>201600</b>	<b>161408</b>	<b>92479,8</b>



## DESCENTE DE CHARGES

<b>ELU</b>	<b>Vent W</b>	0	N/ml		
CHARGES SUR FONDATION	<b>Neige S Toit pente</b>	0	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
		188253,25	228975	219005	122701,8
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
		0	25000	11900	27600
GAMMA	<b>Coefficients gamma</b>	<b>PP</b>	<b>Surcharge, neige et vent</b>		
		1,35	1,5		
	<b>Vent W</b>	0	N/ml		
	<b>Neige S Toit pente</b>	0	N/ml		
	<b>G</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
		254141,8875	309116,25	295656,75	165647,43
	<b>Charge d'exploitation I</b>	<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
		0	37500	17850	41400
COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$	
	Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3	
	Neige S	0,5	0,2	0	
	Vent W	0,6	0,2	0	
		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	254141,8875	346616,25	313506,75	207047,43
<b>ELS</b>	COMBINAISON		$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
		Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
		Neige S	0,5	0,2	0
		Vent W	0,6	0,2	0
		<b>Mur A</b>	<b>Mur B</b>	<b>Mur C</b>	<b>Mur D</b>
<b>A. Combinaison d'actions</b>	<b>S dominante</b>	188253,25	253975	230905	150301,8

### E. Descentes de charges Bâtiment en zone protégée | Forest

Descente de charges avant rénovation : les murs porteurs

TOITURE			
<b>Charges à prendre en compte</b>			Alpha 0
TOITURE	L [m]	P_toit [N/m <sup>2</sup> ]	SURCHARGE (ENTRETIEN)
	5,3	3800	s_e [N/m <sup>2</sup> ] 2000

L = portée entre les deux murs porteurs

Seul le poids propre de la structure est pris en compte car il est nettement supérieur à celui des autres éléments composant la toiture.

CHARGE LINEAIRE	P_toit [N/m]
	20140
	5300

**Calcul du vent :**

$\theta = 0^\circ$		alpha [°]	qp	We	Wi	We-Wi
		0				
<b>F</b>	0					
	-0,7		669,70	<b>-468,79</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-1004,56</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,7		669,70	<b>-468,79</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>-133,94</b> N/m <sup>2</sup>
<b>G</b>	0					
	-0,8		669,70	<b>-535,76</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-1071,53</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,8		669,70	<b>-535,76</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>-200,91</b> N/m <sup>2</sup>
<b>H</b>	0					
	-0,3		669,70	<b>-200,91</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-736,67</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,3		669,70	<b>-200,91</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>133,94</b> N/m <sup>2</sup>
<b>I</b>	0					
	0,2		669,70	<b>133,94</b> N/m <sup>2</sup>	535,76	<b>-401,82</b> N/m <sup>2</sup>
	-0,2		669,70	<b>-133,94</b> N/m <sup>2</sup>	-334,85	<b>200,91</b> N/m <sup>2</sup>

Coefficient de pression intérieur		
Cp,i	qp	Wi
-0,5	669,708025	<b>-334,854</b> N/m <sup>2</sup>
0,8	669,708025	<b>535,76642</b> N/m <sup>2</sup>

**Vent :**

Vb	26,2	m/s
Vm	12,451	m/s
Cr	0,475	
C0	1	
qb	429,025	N/m <sup>2</sup>
qm	96,902	N/m <sup>2</sup>
$\rho$ air	1,25	Kg/m <sup>3</sup>
Z	7,6	m
kr	0,234	
Z0	1	m
Zmin	10	m
qp	669,708	N/m <sup>2</sup>
Ce	1,561	m

**Calcul de la pression et de la dépression moyennes**

Ce calcul est basé sur une moyenne pondérée par les surfaces des zones  
Formule générale: (We-Wi)\*S/S\_totale

	S m <sup>2</sup>	S_totale	
<b>S_F</b>	0,7	18,53	-37,9489167
			18,53
			-5,05985556
<b>S_G</b>	1,4	18,53	-80,9576889
			18,53
			-15,1795667
<b>S_H</b>	6,46	18,53	-256,823811
			18,53
			46,6952384
<b>S_I</b>	9,27	18,53	-201,020833
			18,53
			100,510416
<b>We+Wi moyen</b>			-614,700167 N/m <sup>2</sup>
			<b>121,90638</b> N/m <sup>2</sup>

VENT	Pr.	P vent repris par chaque mitoyen
	Pression Alpha	
	121,90	<b>323,051</b>
	N/m <sup>2</sup>	N/m

NEIGE	A [m]	Z	s_k [kN/m <sup>2</sup> ]	$\mu$ 0°	C_e	C_t	s_n [N/m <sup>2</sup> ]
		41	4,5	0,698	0,8	1	1
							<b>P neige repris par chaque mitoyen</b>
							<b>1480,69</b>
							N/m

**MUR MITOYEN/PIGNON**

**Dimensions et poids**

MUR MITOYEN	H [m]	$\rho$ [N/m <sup>3</sup> ]	ep_mur [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
		9,2	18000	0,27

**Calcul du poids du mur au pied de chaque mur porteur**

CHARGES	P [N/m]		SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ] 2000
	44712			
CHARGE LINEAIRE	PLANCHER R+1			
	L [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]	
	5,3	3800	20140	
		5300		

## DESCENTE DE CHARGES

CHARGES SUR FONDATION	323,051899		
	Vent W	4	N/ml
ELU	Neige S	Pente	N/ml
		1480,699	
GAMMA	G Murporteur		N/ml
		84992	
ELU	Charge d'exploitation		
	I Murporteur		N/ml
		10600	

GAMMA	Coefficients gamma	PP	Surcharge, neige et vent
		1,35	1,5
ELU	Vent W	484,577	N/ml
	Neige S	Pente 1	N/ml
		2221,048	
GAMMA	G Murporteur		N/ml
		114739,2	
ELU	Charge d'exploitation		
	I Murporteur		N/ml
		15900	

	Charge d'exploitation	ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
	I	0,7	0,5	0,3
	Neige S	0,5	0,2	0
	Vent W	0,6	0,2	0

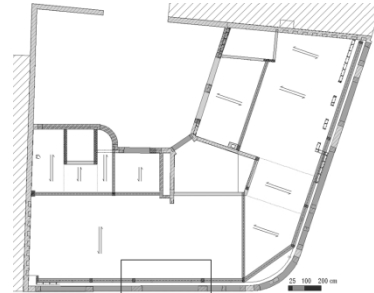
		Murporteur
		132040,471
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	2
		131180,325
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	4
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	130639,2

COMBINAISON	ELU	Charge d'exploitation I	ψ <sub>0</sub>	ψ <sub>1</sub>	ψ <sub>2</sub>
			0,7	0,5	0,3
		Neige S	0,5	0,2	0
		Vent W	0,6	0,2	0

<b>Mur porteur</b>		
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	96526,18
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	95952,75
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	955

**Descente de charges après rénovation : les murs porteurs**

TOITURE		Charges à prendre en compte		Alpha 0	SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ]
TOITURE	L [m]	P <sub>toit</sub> [N/m <sup>2</sup> ]			2000	
	5,1	3800				



L = portée entre les deux murs porteurs du plan 'haut 2ème étage'

Seul le poids propre de la structure est pris en compte car il est nettement supérieur à celui des autres éléments composant la toiture.

CHARGE LINEAIRE	P <sub>toit</sub> [N/m]	(perm.) (expl.)	COLONNE E (PP)	H [m]	b [m]	l [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	Poids [N]
				<b>19380</b> <b>5100</b>			2,3	0,15

VENT	Pression	Pr. Alpha	P vent repris par chaque mitoyen	CHARGE TOT	Poids [N]	L [m]	Poids=PP colonne + P [N/m]*L/2
		121,906	121,906		<b>310,861</b>		
	N/m <sup>2</sup>	N/m <sup>2</sup>	N/m		<b>13515</b>		

NEIGE	A [m]	Z	s <sub>k</sub> [kN/m <sup>2</sup> ]	μ <sub>0</sub>	C <sub>e</sub>	C <sub>t</sub>	s <sub>n</sub> [N/m <sup>2</sup> ]
		41	4,5	0,698	0,8	1	1
							<b>P neige repris par chaque mitoyen</b>
							<b>1424,82</b>

MUR MITOYEN/PIGNON				
Dimensions et poids				
MUR MITOYEN	H [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]	ep <sub>mur</sub> [m]	Poids [N/m <sup>2</sup> ]
	11,8	18000	0,27	4860

Hauteur du mur jusqu'au sol identique à celle avant la rénovation.

Calcul du poids du mur au pied de chaque mur porteur	
CHARGES	P [N/m]
	<b>57348</b>

PLANCHERS			SURCHARGE (ENTRETIEN)	s <sub>e</sub> [N/m <sup>2</sup> ]	P TOT	P [N/m]	(perm.) (expl.)
CHARGE LIN R+2	L [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]					
	5,1	3800					
		<b>19380</b>					
		<b>5100</b>					
			POUTRE HEB 240	P [N/m]			
				832			

Planchers posant sur les poutres parallèles à la façade.

Calcul du poids reprise par les colonnes				
COLONNE (PP)	H [m]	b [m]	l [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]
	2,3	0,15	0,2	25000
Poids [N] 1725				
CHARGE TOT	Poids [N]	L [m]	Poids=PP colonne + P [N/m]*L/2	
	55286,8	5,3		
13515				
CHARGE LIN R	L [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]	SURCHARGE (ENTRETIEN) s_e [N/m <sup>2</sup> ]
	2,8	3800	10640	
			2800	P TOT P [N/m]
				11472 (perm.)
				2800 (expl.)
				POUTRE HEB 240 P [N/m]
				832

Calcul du poids reprise par les colonnes				
COLONNE (PP)	H [m]	b [m]	l [m]	ρ [N/m <sup>3</sup> ]
	2,3	0,15	0,2	25000
Poids [N] 1725				
CHARGE TOT	Poids [N]	L [m]	Poids=PP colonne + P [N/m]*L/2	
	32125,8	5,3		
7420				
CHARGE PONCTUELLE TOTALE PLANCHER	Poids [N]			
	87412,6			
20935				
CHARGE LINEAIRE	L [m]	P [N/m <sup>2</sup> ]	P [N/m]	SURCHARGE (ENTRETIEN) s_e [N/m <sup>2</sup> ]
	5,3	3800	20140	2000
			5300	

## DESCENTE DE CHARGES

Des charges ponctuelles

CHARGES SUR FONDATION		Vent W	0	N/ml
		Neige S	Pente	N/ml
			0	
		G	Murporteur	N/ml
			140494,6	
		Charge d'exploitation I	Murporteur	N/ml
			34450	
<b>ELU</b>	GAMMA	Coefficients gamma	PP	Surcharge, neige et vent
			1,35	1,5
		Vent W	0	N/ml
		Neige S	Pente 1	N/ml
			0	
		G	Murporteur	N/ml
			189667,71	



Charge d'exploitation I			
	$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
Charge d'exploitation I	0,7	0,5	0,3
Neige S	0,5	0,2	0
Vent W	0,6	0,2	0
			<b>Mur porteur</b>
<b>A.</b>	<b>S dominante</b>	241342,71	
<b>B.</b>	<b>S dominante</b>	241342,71	
<b>C.</b>	<b>S dominante</b>	241342,71	

EL S			$\psi_0$	$\psi_1$	$\psi_2$
COMBINAISON	Charge d'exploitation I		0,7	0,5	0,3
	Neige S		0,5	0,2	0
	Vent W		0,6	0,2	0
		<b>Mur porteur</b>			
<b>A. Combinaison d'actions</b>		<b>S dominante</b>	174944,6		
<b>B. Combinaison fréquente</b>		<b>S dominante</b>	174944,6		
<b>C. Combinaison quasi permanente</b>		<b>S dominante</b>	174944,6		

## BIBLIOGRAPHIE

**ADAM, 2011.** *Training tools for sustainable buildings.* Projects and Products Portal for Leonardo da Vinci. Consulté en mars 2012 sur : [www.adam-europe.eu](http://www.adam-europe.eu)

**Alexandre O., 2011.** *Une rénovation par étapes jusqu'au standard passif.* Passeurs d'énergie. 3 p.

**Amjahdi M., Lemale J., 2010.** *Rénovez votre maison : des solutions écologiques.* Maison magazine. Editions Dunod. Paris. p. 16

**Architecture et Climat, 2012.** *Inertie thermique.* Energie +, version 7, DGO4. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

**Architecture et Climat, 2012.** *Le confort respiratoire.* Energie +, version 7, DGO4. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

**Architecture et Climat, 2012.** *Le confort visuel.* Energie +, version 7, DGO4. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

**Architecture et Climat, 2012.** *L'inertie thermique.* Energie +, version 7, DGO4. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

**Architecture et Climat, 2012.** *Le mur plein.* Energie +, version 7, DGO4. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.energieplus-lesite.be>

**ATOS GROUP.** Construction durable. *Maitrise de l'énergie.* Consulté en mars 2012 sur : <http://www.atosgroup.be>

**Barszez A-M., Camelbeeck T., Plumier A.** *Le risque sismique et sa prévention en Région wallonne.* 33 p.

**Bergeron A., 2000.** *La rénovation des bâtiments.* Editions Les presses de l'Université Laval. Canada. 423 p. (p. 5-6)

**Bourgeois M., Bronchart S., Rixen J-F., 2010.** *Rénover en basse consommation.* Hommes|Habitat | Environnement. Editions L'inédite. Paris. 179 p.

**Branders A., De Herde A., Evrard A., 2010.** *Isolation thermique par l'intérieur des murs existants en briques pleines.* Guide d'aide à la conception. Service Public de Wallonie. 192 p.

**Brohez S., 2011.** *Incendie. Interview : Sylvain Brohez.* Service du Génie des procédés chimiques. Be passive 07. Anvers. 98 p. (p. 86-87)

**Bronchart S., Nonet E., 2011.** *Rénover son logement : Quel objectif énergétique viser ? Comment l'atteindre en respectant son budget et son bâtiment ?* Eureka. 98 p.

**C.durable, 2012.** Lutte contre le changement climatique. *Rapport du PNUE sur l'écart entre les besoins et les perspectives de réduction des émissions pour atteindre l'objectif des 2°C.* Consulté en mars 2012 sur : <http://cdurable.info>

**CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards), 2006.** Article : « *Qu'est-ce qu'un bâtiment passif ?* ». 4 p. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.passivehouse.com>

**Cohen M., 2011.** *Une rénovation. Des bureaux Art déco rénovés pour le CPAS de Forest*. Be passive. Anvers. 90 p. (p. 67-74)

**Colin C., 2011.** Coefficient de transmission thermique en Belgique. Guide pratique. Bruxelles. Tu bâtis je rénove. N° 274.

**Commission européenne - Europe 2020.** *Les objectifs d'Europe 2020*. Consulté en mars 2012 sur : <http://ec.europa.eu>

**Commission on Sustainable Development (CSD).** *Climate change. Climate Change & Sustainable Development*. DSD - The Division for Sustainable Development. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.un.org/esa/dsd>

**Conseil Central de l'Economie, 2006.** *Avis complémentaire à l'avis du 21 décembre 2005 relatif à l'efficacité énergétique dans le secteur du logement en Belgique*. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.ccecrb.fgov.be>

**Conseil Central de l'Economie, 2009.** *Le secteur de la construction constitue-t-il toujours un moteur de croissance pour l'économie belge ?* SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. 100 p.

**Conseil Central de l'Economie, 2011.** Construction et industrie. *Statistique cadastrale du parc de bâtiments, Belgique et régions*. SPF Economie, P.M.E., Classes moyennes et Energie. 23 p.

**CSTC, 1999.** *La ventilation des habitations*. Digest n°5. 6 p.

**de Meester T., 2009.** *Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique*. LEHR. Politique Scientifique Fédérale. 59 p.

**DG04, 2011.** *Quelles informations dans le certificat de performance énergétique d'un logement ?* Service Public de Wallonie, Jambes, 8 p.

**Europa, 2006.** Energie. *Stratégie en faveur d'une énergie compétitive, durable et sûre*. Consulté en mars 2012 sur : <http://europa.eu>

**Europa, 2009.** Energie. *L'efficacité énergétique à l'horizon 2020*. Consulté en mars 2012 sur : <http://europa.eu>

**European Commission – Managenergy.** *COM 2002/91/EC: Directive on the Energy Performance of Buildings*. Consulté en mars 2012 sur : <http://ec.europa.eu>

**European Commission, 2011.** Climate Action. *What we do*. Consulté en mars 2012 sur : <http://ec.europa.eu>

**Finnforest, 2012.** *Poutre en I à membrures en Kerto-S*. MetsaWood. Consulté en avril 2012. Disponible sur : <http://www.metsawood.fr/Pages/Default.aspx>

**Galvin R., 2011.** German Federal policy on thermal renovation of existing homes: A policy evaluation. Department of Architecture, University of Cambridge. Cambridge, UK.

**Global Chance.** *Petit memento énergétique de l'Union Européenne. Consommation d'énergie primaire par source*. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.global-chance.org>

**Gouvernement Wallon, 2012.** *La première alliance emploi-environnement est scellée*. Consulté en mars 2012 sur : <http://gouvernement.wallonie.be>

- Guerriat A., 2008.** Hommes | Habitat | Environnement. *Maisons passives*. Editions L'inédite. Paris. 236 p.
- Guillemeau J-M., Wagelmans P., Wagelmans J., Pirenne M-C., 2010.** *Guide PEB – bâtiment résidentiel*. 146 p.
- IBGE, 2007.** Info-fiches-bâtiments exemplaires 2007. *Avenue du Diamant : pionnier de la rénovation passive*. Bruxelles Environnement. Bruxelles. 2 p.
- IBGE, 2007.** Info-fiches-bâtiments exemplaires 2007. *CPAS Rue Vanpé : comment allier patrimoine et développement durable*. Bruxelles Environnement. Bruxelles. 2 p.
- IBGE, 2008.** Info-fiches-bâtiments exemplaires 2008. *Rue Gérard : rendre un immeuble de rapport performant de manière durable*. Bruxelles Environnement. Bruxelles. 2 p.
- IBGE, 2008.** Info-fiches-bâtiments exemplaires 2008. *Rue Huberti : un, deux, trois...passive !* Bruxelles Environnement. Bruxelles. 2 p.
- IBGE, 2010.** Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments. Info-fiches-bâtiments durables. *Assurer le confort acoustique*. Bruxelles Environnement. Bruxelles. 22 p.
- IBGE, 2011.** Vade-mecum travaux PEB. Bruxelles Environnement. Bruxelles. 108 p.
- Kints C., Opdebeeck M., 2011.** *Rénovation passive et basse énergie*. PMP. Passive House Salon. 38 p.
- La Chambre, 2012.** *Projet de loi portant des dispositions diverses*.
- Le Centre Urbain ASBL.** *Objectifs du protocole de Kyoto en Région de Bruxelles-Capitale*. Consulté en mars 2012 sur : <http://www.curbain.be>
- Le Centre Urbain, 2012.** *Primes en Région Bruxelles-Capitale*. 2p.
- le Hardy M-C., 2012.** *Enquête*. Bureau de presse Thomas & Piron : Advanced Fair, 1p.
- Le portail de la science.** *Le réchauffement climatique. Et si nous faisons le point sur le réchauffement climatique?* Consulté en mars 2012 sur : <http://www.science.gouv.fr>
- Massart C., De Herde A., 2011.** Elaboration d'un outil d'aide à la conception de maisons à très basse consommation d'énergie. *Conception de maisons neuves durables*. Service Public de Wallonie. 159 p.
- McKinsey & Company, 2009.** *Greenhouse gas abatement cost curves. Pathways to World-Class Energy Efficiency in Belgium*. 60 p.
- Moreno-Vacca S., 2011.** *Rénovation du CPAS de Forest*. A2M, PMP. Bruxelles. 28 p.
- Oliva J-P., 2011.** *Le confort thermique*. L'Art d'éco... consommer n°41. Dossier. Ecoconso. 2 p.
- Plate-forme Maison Passive & Architecture et Climat, 2011.** *Rijwoning Eupen*. Projet LEHR. 12 p.
- Plumier A.** *Constructions en maçonnerie*. Conception de bâtiments en situation de risques majeurs. 14 p.
- Rixen J-F., 2011.** *Rénover en basse consommation*. L'Art d'éco... consommer n°76. Dossier. Ecoconso. 3 p.
- Sébito F., Fillipetti H., 2009.** *Guide pratique- Restaurer en vert*. Editions PC. Paris. 159 p.

**Spies N., 2010.** *Défis environnementaux : l'importance de se former.* Confédération Construction Wallonne. 11 p.

**Tommerup H., 2010.** Existing sustainable renovation concepts for single-family houses. DTU-Technical University of Denmark. Danemark. 11 p.

**Willem J., Deprez B., 2010.** Interview de Benoit Meersseman : « *Rénovations exemplaires ou expérimentales ?* ». Be passive. Anvers. 90 p. (p. 48-50)

## Interviews

Monsieur G r me Forthomme du bureau Brouae, mars 2012

Monsieur Thomas Goetghebuer du bureau MATRIciel, mars 2012

Monsieur Yves Piron, mars 2012

Monsieur Benoit Meersseman du bureau JZH & Partners, mars 2012

Monsieur Olivier Alexandre, mars 2012

Monsieur Vincenzo Vita du bureau Imhotep Engineering, mars 2012

Monsieur Marc Opdebeeck du bureau Modelmo, mars 2012

Monsieur Henz du bureau FHW Architectes, avril 2012

Madame Julie Willem du bureau A2M, avril 2012

Monsieur Draps, avril 2012

Monsieur Quentin de Hults de Luwoge Consult, avril 2012

En plus des interviews, de nombreux mails et coups de téléphone se sont échangés.

# LA RÉNOVATION RÉSIDENTIELLE

## **basse énergie & passive**

[ LA QUESTION DES INTERVENTIONS STRUCTURELLES ]

---

Ce travail est organisé en trois parties principales. La première invite à examiner de manière théorique les enjeux de la rénovation énergétique participant à la protection de l'environnement contre le changement climatique. Le but est de révéler que la rénovation n'implique pas seulement des considérations énergétiques mais également structurelles.

La deuxième partie expose les interventions structurelles développées dans des projets de rénovation résidentielle. Elle se base sur les interviews réalisées auprès des intervenants et sur les visites des chantiers en cours. Cinq études de cas détaillées sont réalisées. Ils se situent dans la Région wallonne et dans la Région Bruxelles-Capitale. Des autres rénovations sont également étudiées mais de manière ciblée dans la dernière partie. L'objectif est de cerner les différentes interventions possibles dans l'ensemble des bâtiments résidentiels.

La troisième partie procède à des analyses croisées des différents cas. Des interventions structurelles sont dégagées pour chaque type de parois. Elles dépendent de plusieurs paramètres (variables de départ, conservation de la structure existante, substitution, performance énergétique ciblée,...). Parmi elles, certaines ont des impacts énergétiques et techniques mis en évidence.

L'objectif de ce mémoire est d'élaborer un outil d'aide à la rénovation résidentielle. Ainsi, dès le stade de l'avant-projet, un premier aperçu des interventions structurelles adaptées à chaque bâtiment sera donné aux maîtres d'ouvrage et aux maîtres d'œuvre dans le but d'atteindre le standard basse énergie et passif.

---

This work is organized into three major parts. The first one invites us to consider theoretical energy renovation issues participating to the environment protection against climate change. The aim is to reveal that renovation doesn't mean just energy but also structural considerations.

The second part outlines structural interventions developed into residential renovation projects. It relies on stakeholder interviews and in progress worksite visits. Five detailed studies are performed. They are located in the Walloon Region and the Brussels Capital Region. Other renovations are also investigated but with a targeted way in the last part. The objective is to identify all possible interventions in residential buildings.

The third section carries out cross-analysis of the different cases. Structural interventions are identified for each type of wall. They depend on several parameters (baseline variables, existing structure conservation, substitution, energy efficiency target, ...). Among them, some have energy impacts and techniques highlighted.

The objective of this thesis is to develop a help tool for residential renovation. Thus, from the stage of draft, a first overview of structural interventions adapted to each building will be given to project owners and project managers in order to achieve the standard "low energy" and "passive".