

# RÉNOVATION ENVIRONNEMENTALE D'UN ÎLOT URBAIN



Mémoire de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade d'Ingénieur Civil Architecte par Martin Vierset.

Année académique 2009-2010

Université de Liège - Faculté des Sciences Appliquées





## **Jury**

---

**Promoteur:** Sigrid REITER  
**Membres du jury:** Jacques TELLER  
Pierre PAQUET  
Anne-Françoise MARIQUE  
Kristel DE MYTTENAERE (ULB)  
**Président du jury:** Pierre LECLERCQ

## **Remerciements**

---

Je remercie:

- Sigrid Reiter d'avoir accepté d'être mon promoteur, de m'avoir d'abord encourager dans le choix du thème de mon travail de fin d'études et ensuite fourni de précieux conseils pour sa réalisation;
- Anne-Françoise Marique pour ses recommandations concernant les différents logiciels utilisés;
- Bénédicte Marchal pour la relecture de ce travail;
- Sébastien Lafontaine pour ses informations techniques;
- Mr Henri Groesenicke de m'avoir donné accès au toit de son immeuble et aussi transmis des données de terrain;
- Mes parents pour leur soutien, leurs nombreux encouragements et leur aide.

<b>INTRODUCTION</b>	9
<b>Présentation du travail</b>	13
<b>Contexte</b>	16
<b>Rénovation environnementale d'un îlot urbain</b>	17
1. Définition	17
2. Avantages	18
3. Objectifs généraux du travail	18
4. Étude	20
5. Choix d'un exemple représentatif	21
6. Degré de précision	21
<b>Difficultés</b>	22
1. Règlement d'urbanisme	22
2. Problèmes inhérents de l'isolation par l'extérieur	22
3. Le nombre de propriétaires	23
4. Le financement	23
5. Le relogement des habitants	23
6. Impact social	23
<b>Opportunités</b>	24
1. Prise de conscience	24
2. Croissance du prix de l'énergie	24
3. Opportunité économique	24
4. Incitants financiers	24
5. Nouvelles normes PEB	25
6. Projets exemplaires	25
7. Fierté et renommée d'une ville	26
<b>Hypothèses</b>	27
1. Propriété	27
2. Financement	27
3. Règlement d'urbanisme	27
4. Simplification	27
<b>Outils utilisés</b>	28
1. Google Sketchup	28

2. Townscope	28
3. Pleiades+Comfie	28

## **MÉTHODE DE TRAVAIL**

<b>Description de la méthode</b>	35
1. Évaluation de la situation existante	35
2. Sélection des moyens d'action possibles	35
3. Élaboration des solutions techniques	36
4. Application des solutions techniques	36
5. Calcul du coût des stratégies de rénovation	37
6. Analyse multicritère des stratégies de rénovation	37
7. Développement d'une proposition d'aménagement de l'îlot	37

## **APPLICATION**

<b>Choix de l'îlot</b>	45
1. Étude de l'UCL	45
2. Identification d'un quartier	45
3. Identification d'un îlot en Outremeuse	46

<b>Analyse de la situation existante</b>	48
1. Le quartier	48
2. L'îlot	49
3. Les rues et la place	53
4. Le coeur d'îlot	54
5. Le bâti	57
6. La végétation	63
7. Bilan énergétique de l'existant	64

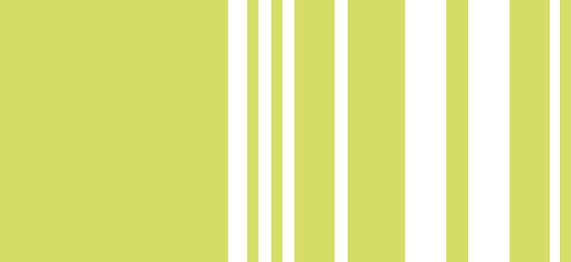
<b>Moyens d'action</b>	74
1. Énergie	74
2. Gestion de l'eau de pluie	80
3. Les volumes annexes	80
4. Aménagement du coeur d'îlot	81
5. Choix des matériaux de construction	83

<b>Dossier techniques</b>	85
<b>Application à l'enveloppe des solutions techniques</b>	97
1. Comparatif des améliorations	97
2. Stratégies de rénovation	113
<b>Analyse multicritère</b>	119
1. Introduction	119
2. Analyse	119
3. Conclusion	122
<b>Application des systèmes d'énergie renouvelable</b>	124
<b>Aménagement de l'espace public</b>	127
1. Schéma d'intentions	127
2. Exemples d'aménagement	129
<b>CONCLUSION</b>	133
<b>Conclusion</b>	134
<b>ANNEXES</b>	137
<b>Étude de l'UCL - Résumé</b>	141
1. Caractéristiques générales des logements wallons	141
2. Caractéristiques énergétiques et environnementales	142
3. Amélioration en terme de gestion de l'eau	143
4. Typologies prioritaires	144
<b>Exigences à atteindre en rénovation sur l'isolation thermique</b>	149
<b>CWATUPE: articles concernant les «centres anciens protégés»</b>	150
<b>NBN B62-202:2007</b>	152
<b>Tableaux comparatifs des matériaux</b>	153
<b>Calcul du prix des variantes</b>	158
<b>Détail du calcul des panneaux solaires thermiques</b>	159



**Rénovation d'une maison de maître à Liège** 160

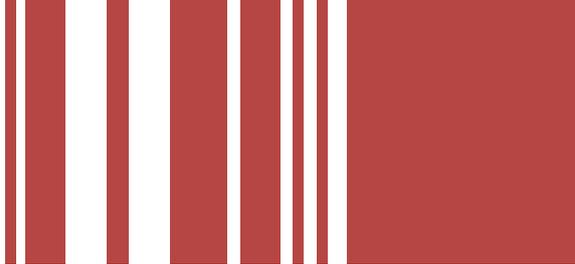
**Réhabilitation écologique de l'îlot Hedebygade** 170



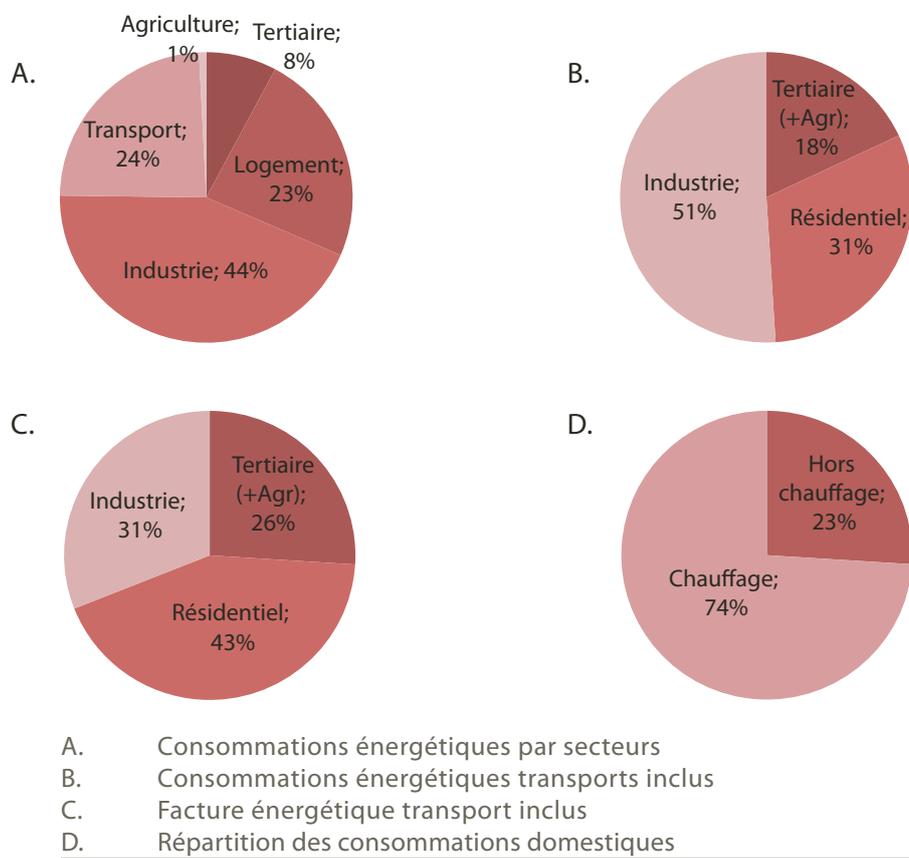


# INTRODUCTION

<b>Présentation du travail</b>	13
<b>Contexte</b>	16
<b>Rénovation environnementale d'un îlot urbain</b>	17
<b>1. Définition</b>	17
1.1. L'îlot urbain	17
1.2. La rénovation	17
1.3. Le concept d'environnement	18
<b>2. Avantages</b>	18
<b>3. Objectifs généraux du travail</b>	18
3.1. Gains énergétiques	18
3.2. Choix des matériaux	19
3.3. Contexte, espace public	20
<b>4. Étude</b>	20
4.1. Estimation du gain en besoin de chauffage	20
4.2. Élaboration d'un dossier technique	21
4.3. Estimation du coût de l'opération	21
<b>5. Choix d'un exemple représentatif</b>	21
<b>6. Degré de précision</b>	21
<b>Difficultés</b>	22
1. Règlement d'urbanisme	22
2. Problèmes inhérents de l'isolation par l'extérieur	22
3. Le nombre de propriétaires	23
4. Le financement	23
5. Le relogement des habitants	23
6. Impact social	23
<b>Opportunités</b>	24
1. Prise de conscience	24
2. Croissance du prix de l'énergie	24
3. Opportunité économique	24
4. Incitants financiers	24
5. Nouvelles normes PEB	25
6. Projets exemplaires	25
7. Fierté et renommée d'une ville	26



<b>Hypothèses</b>	27
1. Propriété	27
2. Financement	27
3. Règlement d'urbanisme	27
4. Simplification	27
<b>Outils utilisés</b>	28
1. Google Sketchup	28
2. Townscope	28
3. Pleiades+Comfie	28



A. Consommations énergétiques par secteurs  
B. Consommations énergétiques transports inclus  
C. Facture énergétique transport inclus  
D. Répartition des consommations domestiques



## Présentation du travail

C'est au début des années 70 que l'on se pose les premières questions sur les risques de la croissance de l'être humain. En 1980, l'Union internationale pour la conservation de la nature publie un rapport intitulé «La stratégie mondiale pour la conservation», il y apparaît pour la première fois la notion de « développement durable ». En 1987, La Commission mondiale sur l'environnement et le développement définit clairement ce qu'est le développement durable :

« C'est un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. »<sup>1</sup>

C'est seulement depuis les années 2000 qu'apparaît une vive conscientisation collective dans la population. Celle-ci s'est éveillée avec le réchauffement climatique que l'on ne peut plus ignorer, mais aussi avec l'augmentation croissante du prix de l'énergie. La notion de développement durable, s'ancre donc de plus en plus dans notre société, et il est important que nous, futurs ingénieurs architectes, l'intégrons à nos projets. C'est dans cette optique que ce travail de fin d'études s'inscrit délibérément.

---

Avant de définir les objectifs de ce travail, il convient de faire un double constat concernant l'habitat en Wallonie (ceci peu évidemment s'étendre au-delà de notre région, mais les chiffres et les références avancées tout au long de l'étude concernent essentiellement la Wallonie).

Le premier constat est que l'évolution des agglomérations est caractérisée depuis les années 60 par une croissance rapide et peu dense du tissu bâti en milieu périurbain. Ce mode de croissance génère une grande consommation d'espace, une forte utilisation de la voiture et une fragmentation du territoire. En effet, si le transport est ajouté à chaque secteur d'activité, celui du logement est en seconde position en terme de dépense énergétique (graphique B). Aussi, le succès de la maison 4 façades à la « campagne » a entraîné une perte de valeur de l'habitat en centre urbain, qui petit à petit s'est vu délaissé par les classes moyennes et bourgeoises. Une grande partie des anciens logements bourgeois s'est progressivement transformée en commerces, en bureaux ou en petites unités de logements destinées aux familles plus démunies ou aux étudiants.

Le second constat est que le parc de logements wallons est globalement ancien et d'une qualité énergétique médiocre. En conséquence, l'habitat est un des princi-

---

1 Rapport Brundtland

paux consommateurs d'énergie en Wallonie (graphique A). La principale dépense d'énergie pour l'habitat wallon est affectée au chauffage (graphique D). Vu l'explosion des prix du pétrole, la facture énergétique est aussi en forte hausse (graphique C). Une étude réalisée par l'UCL en 2008<sup>1</sup>, a dégagé des potentiels d'amélioration et de priorités d'action en terme de rénovation énergétique et durable des logements wallons. Ce potentiel se situe au niveau du bâti ancien.

En dehors du point de vue énergétique, l'étude met en évidence 3 indicateurs, souvent liés l'un à l'autre:

- La salubrité: conditions minimales d'habitabilité des logements;
- La qualité: indice plus global qui comprend la qualité du bâtiment (structure, étanchéité...) et du logement (isolation thermique et acoustique, installations électrique et chauffage, locaux humides...);
- «L'état du logement», il s'agit de l'état physique et structurel des logements sur la base de l'appréciation par le chef de ménage.

Les chiffres qui en ressortent pour le parc de logement wallon sont le suivants:

- Indice de salubrité: 28,3% moyen, 4,9% mauvais et 4,6% très mauvais<sup>2</sup>
- Indice de qualité: 33,2% moyen, 5,9% mauvais et 5,7% très mauvais<sup>3</sup>
- État du logement: 34% moyen, 17% mauvais, 2,1% très mauvais<sup>4</sup>

On peut donc dire qu'il y a lieu de réhabiliter ces logements pour en améliorer la salubrité, la qualité ou l'état général. Il est également nécessaire de profiter de ces améliorations pour entreprendre des travaux de réhabilitation thermique lors cette même opération.

---

La désertification des villes pour d'autres types d'habitation ainsi que la qualité, qualifiée par certains de médiocre, du parc de logement wallon m'ont incités à orienter le sujet de mon travail de fin d'études vers les directions suivantes:

- La consommation énergétique des logements: problème principal du parc de logement wallon;
- La rénovation de l'habitat ancien (avant 1950): ce sont essentiellement ces bâtiments qui consomment de l'énergie;
- La rénovation de quartiers résidentiels urbains et l'amélioration de l'espace public environnant: pour redonner aux centres villes un attrait à toutes les classes sociales;
- L'étude d'un îlot urbain wallon: car ces problèmes touchent ma région.

---

1 Résumé de l'étude en annexes, page 141

2 Enquête sur la qualité de l'habitat en Région Wallonne 2006-2007 -DGATLP, MRW

3 Enquête sur la qualité de l'habitat en Région Wallonne 2006-2007 -DGATLP, MRW

4 Article «État du logement» - Échos du logement n°5/2005



Le sujet « Rénovation environnementale d'un îlot urbain » proposé par Sigrid Reiter, chargée de cours en urbanisme et aménagement du territoire, prenait en compte ces différents points, c'est donc sans grande hésitation que je l'ai choisi. Par contre les objectifs détaillés proposés ont été légèrement modifiés avec l'accord de mon promoteur.

#### **Sujet détaillé initialement proposé par Sigrid Reiter**

Le travail consiste à analyser la qualité environnementale d'un îlot urbain au cœur du quartier Saint-Léonard et d'étudier les stratégies de rénovation urbaine environnementale qui pourraient lui être appliquées. Deux thèmes peuvent être approfondis :

- La comparaison de l'étude environnementale de cet îlot à l'aide de plusieurs méthodes d'évaluation, comme par exemple HQE, BREEAM, Green Building, EQUER ...;
- Une recherche des types d'interventions possibles et des meilleures solutions techniques dans le cadre d'une rénovation urbaine.

#### **Sujet modifié**

Le travail consiste à analyser un îlot urbain choisi selon l'étude de l'UCL<sup>1</sup> et d'étudier les stratégies de rénovation urbaine environnementale qui pourraient lui être appliquées. Les étapes du travail sont les suivantes:

- Analyse de l'existant (morphologique, énergétique ...);
- Mise en évidence de moyens d'actions envisageables;
- Recherche des solutions techniques;
- Application des solutions (modélisation énergétique, calcul du gain énergétique...) et mise en place de plusieurs stratégies de rénovation;
- Estimation du coût des stratégies envisagées;
- Aide au choix de la stratégie adoptée par une analyse multicritère.

---

1 Résumé de l'étude en annexe page 141

## Contexte

Le sujet de ce travail s'inscrit directement dans une politique de rénovation urbaine développée par la Région Wallonne depuis le début des années 70. Le développement de cette politique s'est fait selon une succession de mesures prenant en compte systématiquement les nouveaux problèmes menaçant les villes, parmi ceux-ci :

- «L'éclatement des fonctions et la création de quartiers mono-fonctionnels;
- L'implantation massive du secteur tertiaire;
- L'abandon par les entreprises de bâtiments désaffectés;
- Le vieillissement du patrimoine immobilier;
- L'exode urbain;
- La circulation automobile et le parking;
- Les grandes saignées dans le tissu traditionnel;
- La mauvaise intégration des constructions neuves;
- La défiguration des façades à des fins commerciales;
- Le changement brutal d'échelle;
- L'incertitude qui plane quant à l'avenir de certains quartiers.

Pour faire face à ces différents problèmes, les objectifs de la rénovation urbaine sont les suivants :

- Maintien de l'animation des centres urbains;
- Maintien d'un habitat diversifié pour toutes les classes de la population;
- Enrayement de l'étalement urbain en redonnant un attrait au logement des villes;
- Amélioration de la qualité des logements, et du cadre de vie en général
- Assainissement d'îlots et suppression des taudis;
- Préservation et mise en valeur de l'héritage architectural et culturel;
- Gestion économe du patrimoine immobilier et utilisation rationnelle du sol et des équipements;
- Respect des structures sociales existantes;
- Participation accrue de la population.»

Il ne faut pas considérer la rénovation urbaine uniquement comme un travail ponctuel de construction, mais aussi comme une approche sociale globale. En effet les habitants des quartiers délaissés doivent pouvoir profiter également d'une qualité environnementale conforme au mode de vie de la société contemporaine. Rénover ces quartiers contribue donc à la suppression de ce retard social.

Ces opérations de rénovation urbaine ne doivent pas seulement comprendre la réhabilitation de logement mais aussi de l'environnement qui l'entoure, elles découlent d'une décision globale d'aménagement du territoire dont l'objectif final est la restructuration urbaine.<sup>1</sup>

1

Selon <http://mrw.wallonie.be/DGATLP/DGATLP/Pages/DAU/Pages/PouvPubl/Aides.asp>

## 1. Définition

### 1.1. L'îlot urbain

L'îlot urbain est un ensemble de bâtiment contigus dont la forme est délimitée par les rues qui l'entoure, il constitue une unité dans une ville.

Pour compléter cette définition:

- « L'îlot au sens étymologique : petite île, est une portion du territoire urbain 'isolée' des voisines par des rues. L'îlot n'est donc pas d'abord une forme architecturale mais un ensemble de parcelles rendues solidaires et qui ne prend son sens que dans une relation dialectique avec le maillage des voies. »<sup>1</sup>
- « Les villes sont des agglomérats d'îlots, l'îlot étant la première unité urbaine désignant un ensemble de propriétés contiguës, bâties ou non, et délimité par plusieurs rues. (...). Le concept de *quartier* est utilisé pour désigner un groupement d'îlots adjacents. »<sup>2</sup>
- « L'îlot apparaît comme un résultat, comme l'ensemble des parcelles privées rendues solidaires par le maillage de la voirie. (...). Non un bloc posé à priori, mais l'addition de parcelles qui s'ouvrent à l'extérieur sur des rues différentes et s'assemblent au centre sur une limite commune. »<sup>3</sup>

### 1.2. La rénovation

La rénovation est une opération qui consiste à améliorer l'état d'un bâtiment existant. On parle aussi de réhabilitation si la rénovation tend à remettre aux normes d'habitabilité actuelles un bâtiment. L'opération peut être considérée comme légère, moyenne ou lourde selon le type d'intervention envisagé (remplacement de châssis, destruction et reconstruction d'une annexe...).

Une rénovation peut aussi se faire à l'échelle d'un îlot, on peut parler de curetage, « opération de restauration d'un îlot d'habitation ancien »<sup>4</sup>. On définit aussi le curetage par « une approche différentielle des interventions sur le bâti, mais réfléchi finement à l'échelle de l'îlot : c'est ainsi qu'a été (...) une stratégie de dédensification des îlots historiques par destruction des ajouts et des constructions les plus médiocres, et, en même temps, de protection ou restauration du bâti avec aménagements d'espaces public de voisinage »<sup>5</sup>

1 CASTEX J., DEPAULE J.-C., PANERAI P., «Formes urbaines: de l'îlot à la barre», Editions Parenthèses, collection eupalinos, 2004

2 VILLES VILLAGES 80, «Les intérieurs d'îlot», Fondation Roi Baudoin, 1980

3 MANGIN D., PANERAI P., «Projet», Chapitre 4: La production du tissu urbain, Edition parenthèse, 2005

4 LAROUSSE - Grand Format - 1995

5 GAUDIN J.-P., «Politique de la mémoire: Les projets sur la ville dans la première moitié du XXe siècle», dans LAMIET B., SANSON P., «Les langages de la ville», Edition Parenthèse, collection eupalinos, 1997

(Définitions énoncées dans le travail de fin d'études de Céline Genette, «Stratégie de végétalisation en coeurs d'îlots», Ulg, 2009)

### 1.3. Le concept d'environnement

---

Dans le cadre de la rénovation d'un îlot, le terme « environnemental » concerne les thématiques suivantes :

- L'énergie : réduire la consommation;
- L'eau : réduire la consommation, respecter le cycle de l'eau, moins de pollution;
- Les déplacements : favoriser la mobilité douce (transport en commun, marche à pied, vélo);
- Le paysage : conserver, améliorer, s'intégrer au paysage --> confort visuel
- Le bruit : diminuer, se protéger --> confort acoustique;
- Les déchets : diminuer la production;
- L'air : diminuer la pollution --> confort respiratoire.

Une rénovation de ce type tend donc à diminuer les impacts environnementaux et à améliorer le cadre de vie des habitants de la ville.

Ce travail est principalement consacré aux préoccupations énergétiques, les autres thématiques sont abordées sans être approfondies.

## 2. Avantages

---

Les avantages d'une rénovation à l'échelle d'un îlot sont:

- Un coût avantageux par rapport à une rénovation effectuée bâtiment par bâtiment et de manière étalée dans le temps;
- Un impact environnemental positif plus important;
- Une occasion de corriger les erreurs dues à l'évolution de l'ensemble du bâti et de le rendre cohérent;
- La possibilité de redistribuer la surface de plancher habitable (deux maisons en une etc.) pour s'adapter à une certaine demande;
- Des impacts au niveau social et économique positifs;
- La possibilité d'intégrer des infrastructures à usage commun (chauffage, récolte d'eau de pluie, jardins semi-public...);
- Une démarche participative des citoyens.

## 3. Objectifs généraux du travail

---

Parmi les thématiques relevées dans le cadre d'une rénovation environnementale, les 3 suivantes sont explorés plus précisément dans ce travail:

### 3.1. Gains énergétiques

---

Pour aborder ce sujet il est indispensable de rappeler les standards exigences régionales en matière de performances énergétiques.

Les standards de la rénovation énergétique en Région Wallonne s'expriment par un besoin de chauffage annuel à atteindre (sans tenir compte du rendement de l'installation de chauffage, les m<sup>2</sup> correspondent à la surface nette du plancher du volume chauffé):



- Standard basse énergie : 60 kWh/(m<sup>2</sup> an)
- Standard très basse énergie : 30 kWh/(m<sup>2</sup> an)
- Standard passif : 15 kWh/(m<sup>2</sup> an) ; étanchéité du bâtiment très performante (n<sub>50</sub> < 0,6 h<sup>-1</sup> sous 50 Pa (test Blower Door)) ; pourcentage de surchauffe dans le bâtiment (>25°C) inférieur ou égal à 5%)

Les standards sont exprimés en besoin de chauffage car ceux-ci représente la principale consommation d'énergie au sein des ménages (+- 75% de l'énergie totale utilisée, voir figure 1).

Dans le cas d'une rénovation il est très difficile d'atteindre le standard passif pour les raisons suivantes :

- Le renforcement de l'isolation demande beaucoup de quantité d'isolant;
- L'utilisation d'une ventilation mécanique est obligatoire mais pas toujours intégrable;
- L'étanchéité du bâtiment doit être très performante ce qui est envisageable mais plus difficile dans une rénovation;
- L'agrandissement de certaines baies est parfois nécessaire.

A priori, il est plus réaliste de viser le standard basse ou très basse énergie dans le cas d'une rénovation.

Les exigences en matière de rénovation se situe au niveau de :

- L'isolation thermique: respect d'un U max à respecter pour les éléments neufs ou modifiés;<sup>1</sup>
- La ventilation: dispositif d'amenée d'air dans les locaux où les châssis sont remplacés.

Si le bilan énergétique peut être améliorer en réduisant la consommation, il est également possible en produisant de l'énergie. Deux moyens de production d'énergie renouvelable ont été retenus dans le cadre de la rénovation environnementale d'un îlot urbain:

- Soit au moyen de panneaux solaires thermiques: une installation peut couvrir 50% à 60% des besoins annuels en eau chaude;
- Soit au moyen de capteurs photovoltaïques: l'installation est branchée au réseau afin de revendre le surplus de la production électrique.

### **3.2. Choix des matériaux**

Une rénovation basse énergie implique de choisir des matériaux dont l'impact environnemental est le plus faible possible: matériaux recyclés, naturels ou renouvelables, de provenance locale ou européenne.

Cet impact environnemental est mesuré par l'énergie grise des matériaux, qui dépend de son mode de fabrication, de stockage, de transport, de recyclage...

---

<sup>1</sup> Voir tableau en annexes, page 149

Le choix des matériaux de construction économes en énergie grise peut se baser sur des analyses de cycle de vie (ACV) des matériaux.

L'action de rénover présente déjà un gain d'énergie grise conséquent par rapport à la construction d'un nouveau bâtiment étant donné que l'on récupère au minimum la structure du bâtiment, qu'il n'est pas nécessaire d'agrandir les réseaux (eau, électricité, gaz, route,...), et que la quantité de déchet est limitée (par rapport à une démolition complète).

### **3.3. Contexte, espace public**

---

Une rénovation durable ne s'arrête pas uniquement à l'amélioration des performances énergétiques et environnementales du bâtiment. L'intégration au contexte dans lequel se trouvent les bâtiments à rénover est essentielle. Dans le cadre d'une rénovation d'un îlot urbain, ce point est d'autant plus important vu l'ampleur de l'intervention. Les axes de réflexion sont les suivants :

- Améliorer les relations ou établir des relations avec le quartier du point de vue social;
- Prendre en compte l'environnement existant (les matériaux, les gabarits, ...);
- Développer une réflexion intermédiaire en cœur d'îlot, basée sur un espace central commun semi-public et non sur une multitude de petits jardins, afin de permettre l'intégration des infrastructures à usage commun (chaufferie, salle commune, plaine de jeux, parking à vélo, laverie commune...) et d'améliorer la cohésion sociale;
- Selon le contexte il peut être opportun de modifier ou de compléter le programme existant de manière à s'adapter au quartier ou à répondre à une certaine demande (nouveaux commerces, nouvel arrêt de bus, logements à différents prix, crèche, sécurité, parking...);
- Favoriser une mobilité douce.

## **4. Étude**

---

Pour atteindre ces objectifs, il s'agit de fournir des réponses précises au terme de ce travail:

### **4.1. Estimation du gain en besoin de chauffage**

---

Le gain énergétique en matière de chauffage est l'aspect le plus approfondi de cette étude.

L'estimation du besoin de chauffage de l'état existant est comparé à celle de l'état rénové selon divers choix techniques.

### **4.2. Élaboration d'un dossier technique**

---

Les choix techniques sont illustrés de manière concrète par des fiches reprenant



les détails de mise en oeuvre , le calcul des coefficients de déperdition thermique et leur coût.

### **4.3. Estimation du coût de l'opération**

---

L'estimation du coût est limitée aux actions de rénovations envisagées, en vue de les comparer les différentes solutions.

### **5. Choix d'un exemple représentatif**

---

La méthode mise au point dans ce travail est appliquée à un îlot existant choisi parmi les plus représentatifs selon l'étude de l'UCL qui met en évidence des typologie de bâti prioritaire en matière de rénovation.

### **6. Degré de précision**

---

Le degré de précision est celui d'une étude de faisabilité.

Les estimations de gains énergétiques, de coûts de construction sont exploitées de manière relative pour comparer les différentes solution envisagées. Leur absolue ne peut être exploitée pour budgétiser l'opération.

## Difficultés

Les difficultés rencontrées lors de la rénovation d'un îlot urbain sont plus nombreuses que celles relatives à un projet de rénovation individuelle. En effet hormis le règlement d'urbanisme, des difficultés supplémentaires se dressent face à une opération sur un îlot tels que les acteurs du projet (propriétaires, locataires, autorités publiques...) ou le financement de l'opération.

Ces difficultés qui pourraient se dresser face au projet sont abordées de manière succincte, l'objectif de cette étude n'étant pas d'y apporter des solutions.

### 1. Règlement d'urbanisme

Un permis d'urbanisme est nécessaire pour la réalisation des opérations suivantes:

- Construction ou placement une installation fixe : tout ouvrage incorporé au sol, ancré à celui-ci ou dont l'appui assure la stabilité, et destiné à rester en place, même s'il peut être démonté ou déplacé (exemple : construire un bâtiment à usage commun en cœur d'îlot);
- Modification du volume (exemple : destruction, reconstruction d'une annexe);
- Modification de l'aspect architectural (exemple : modification de bardage);
- Création d'un nouveau logement dans une maison (exemple : création d'un studio);
- Modification de la destination d'un bien (exemple: transformation d'un logement en un bâtiment à usage commun pour les habitants de l'îlot);
- Tout travaux de modification de l'aspect extérieur ou intérieur d'un bien classé.

Les panneaux solaires en toiture ne nécessite plus aujourd'hui de permis d'urbanisme (uniquement un petit permis), pour autant qu'ils soient posés sur une toiture plate ou encastrés dans une toiture inclinée, et qu'ils ne débordent pas par rapport au bâtiment.

### 2. Problèmes inhérents de l'isolation par l'extérieur

Si le règlement d'urbanisme en vigueur permet une modification du revêtement de façade, on peut envisager d'isoler par l'extérieur mais cela implique deux difficultés majeures:

- L'une liée au domaine public : les bâtiments d'îlots urbains étant pour la plupart à front de voirie, une nouvelle peau d'une épaisseur d'au moins 10 cm empiétera forcément sur le domaine public;
- Et l'autre liée au patrimoine : dans le sillon Sambre et Meuse, la plupart des façades des logements construits avant 1950 sont en briques et/ou en pierres. Envisager de couvrir ces murs d'une nouvelle peau, certes bénéfique au point de vue énergétique, peut être problématique pour les raisons suivantes:
  - La brique et la pierre sont fortement liées à l'identité culturelle de la Wallonie;



- Les habitants sont attachés à ces matériaux;
- La mise en œuvre de ces matériaux présente un intérêt architectural, voire patrimonial, notamment par la richesse de certains détails, qu'il est important de préserver (pierres taillées...).

L'isolation par l'extérieur étant la solution la plus favorable techniquement et énergétiquement, il est dès lors important de se poser la question suivante : le gain énergétique est-il un argument suffisant pour envisager de perdre le caractère qu'offre ces façades ? L'isolation par l'intérieur est une autre solution mais présente plusieurs inconvénients (ponts thermiques, condensation, évacuation des habitants...).

### **3. Le nombre de propriétaires**

---

L'aspect de la propriété est à l'évidence la difficulté principale à résoudre. Si l'ensemble de l'îlot devient une seule propriété publique ou privée, ou semi-publique privée, le projet est réalisable à ce point de vue. Par contre si les propriétaires existants participent à l'opération de rénovation, celle-ci serait réalisable à condition de la promouvoir par une importante intervention financière publique. Cette démarche est illustrée par un exemple réalisé au Danemark.<sup>1</sup>

### **4. Le financement**

---

Si des incitants sous forme de prime et de déduction fiscale existent en vue d'inciter des particuliers à entreprendre des travaux de rénovation, par contre pour des projets d'envergure l'intervention financière des pouvoirs publics (Communes, Région) sera nécessairement négociée au cas par cas.

### **5. Le relogement des habitants**

---

Dans le cas d'une rénovation lourde, un autre problème important est le relogement des habitants. Ce qui engendre un coût supplémentaire pour la mise en place d'une structure d'accueil mais aussi un «coût moral» du fait du relogement forcé des habitants.

### **6. Impact social**

---

En l'absence de l'intervention sociale des pouvoirs publics, la rénovation du bâti existant génère une augmentation du coût de loyers et des immeubles, qui d'office change la catégorie sociale d'utilisateur.<sup>2</sup>

---

1 Voir annexes, page 170

2 Effet souligné dans les conclusions du quartier Hedebygade au Danemark

## Opportunités

### 1. Prise de conscience

Aujourd'hui, on ne peut nier l'existence de dérèglements environnementaux, essentiellement d'ordres climatiques, liés à nos modes de vie (plusieurs études européennes place l'inquiétude climatique en seconde position dans les préoccupations des européens, après le pouvoir d'achat). Cette conscientisation s'accompagne souvent d'une « prise de responsabilité », en effet si chacun se sent un peu responsable de cette situation, chacun a aussi le pouvoir de l'améliorer, que ce soit par un mode de vie différent ou par une révision de la qualité énergétique de son logement. La mise en œuvre d'une rénovation énergétique s'accompagne aussi d'un sentiment de fierté. Un tel projet peut bénéficier de l'adhésion des pouvoirs publics voire des particuliers compte tenu de cette prise de conscience.

### 2. Croissance du prix de l'énergie

Certains sont peut être moins sensibles au réchauffement climatique mais un peu plus à leurs dépenses qui augmentent avec le prix de l'énergie. La flambée des prix des combustibles<sup>1</sup> est difficile à supporter pour les ménages modestes. Dès lors tout investissement dans l'amélioration thermique des logements constitue un excellent placement financier.

### 3. Opportunité économique

Dans le cadre d'une politique poussée de rénovation environnementale à l'échelle d'une région, le secteur de la construction peut en ressentir les effets positifs:

- Promotion du secteur de la construction;
- Promotion de l'emploi non délocalisable;
- En partie, mise à l'emploi d'une main d'oeuvre peu qualifiée.

### 4. Incitants financiers

Les pouvoirs publics, que ce soient l'État fédéral, les Régions ou encore les Provinces et Communes, ont développé toute une série d'incitants financiers en vue d'inciter les ménages à investir dans des projets d'économie d'énergie.

Au niveau de l'Etat les incitants sont:

- Une réduction d'impôt pour les travaux tels que l'isolation des parois, l'installation de vitrages isolants, le remplacement d'une chaudière ... : réduction fiscale de 40% du montant des travaux payés en 2010, plafond à 2770€, celui-ci peut être rehausser à 3600€ pour l'installation de panneaux photovoltaïques ou solaires thermiques;
- Une réduction de la TVA à 6% pour des travaux de rénovation sur une habitation de plus de 5 ans (dès 2011, pour les maisons de plus de 15 ans);
- Les certificats verts: système mis en place pour soutenir la production d'électricité verte

La Région Wallonne offre aussi un large panel de primes (pour des travaux d'isolation, de remplacement de châssis,...) pour les particuliers, ainsi que pour les indé-

<sup>1</sup> Le prix du gaz payé par le particulier en Belgique a doublé entre 1999 et 2009 selon Eurostat



pendants, les entreprises ou les collectivités locales.

Remarque:

Comme un projet de rénovation d'îlot urbain ne peut bénéficier légalement des primes prévues pour les particuliers, il est indispensable que le projet bénéficie d'autres avantages financiers provenant des pouvoirs publics.

## 5. Nouvelles normes PEB

« PEB » désigne la Performance Énergétique d'un Bâtiment. Le certificat PEB est la carte d'identité énergétique du bâtiment, il indique la consommation théorique d'énergie du bâtiment calculée en fonction des conditions d'utilisation standardisées.

La mise en place des normes européennes PEB permet de valoriser les investissements qui permettent la diminution de consommation énergétique du bâtiment. Celles-ci génèrent une plus-value de la valeur immobilière ou locative des immeubles rénovés de manière normative.

## 6. Projets exemplaires

Au niveau d'une habitation, la rénovation énergétique n'est plus aujourd'hui une opération rare et ne manque pas d'exemples encourageants qui pourraient mener à un effet boule de neige ce qui est très positif. Une rénovation environnementale, réalisée en 2005, d'une maison de maître liégeoise datant de 1905, constitue un excellent exemple.<sup>1</sup>

Il existe des projets de rénovation environnementale de quartier mais ceux-ci sont actuellement peu nombreux. Un plus grand nombre de projets de ce type pourrait en stimuler d'autres, aussi ils fournissent des références, clarifient les concepts et permettent d'éviter les erreurs commises.

J'ai choisi comme exemple de réhabilitation écologique celle de l'îlot d'habitation Hedebygade, situé dans le quartier de Vesterbro à Copenhague<sup>2</sup>, notamment parce qu'il présente plusieurs similitudes avec le sujet qui m'intéresse, mais aussi parce j'ai eu l'occasion de le visiter.

Les principales similarités sont les suivantes :

- Rénovation urbaine ;
- Volonté de reconstruire la ville plutôt que d'en repousser les frontières ;
- Prise en compte de l'impact tant au niveau environnemental (énergie, eau, intégration,...) que social ;
- Année de construction des bâtiments (entre 1850 et 1920) ;
- Proportion majoritaire de logements détenus par des propriétaires privés.

---

1 Exemple détaillé en annexe page 160

2 Exemple détaillé en annexe page 170

Notons que la plupart de ces quartiers durables, qu'ils soient issus d'une rénovation ou non, sont situés dans les pays du Nord de l'Europe, où la population, le monde politique et les professionnels sont sensibilisés depuis de nombreuses années au concept de développement durable.

## **7. Fierté et renommée d'une ville**

---

Développer et promouvoir des projets de rénovations environnementales d'îlots urbains, selon des techniques innovatrices et originales, permet à une ville de se mettre en lumière, ce qui promet des retombées positives:

- Fierté des habitants et donc respect du milieu urbain;
- Tourisme «écologique»;
- Investisseur immobilier;
- Améliorer la renommée de la ville à l'étranger;
- ...

Les hypothèses suivantes constituent les conditions préalables considérées comme acquises pour la suite du développement de l'étude de la rénovation environnementale d'un îlot urbain. Dès lors, les recherches techniques se feront indépendamment des difficultés liées à la propriété, au financement et au règlement d'urbanisme.

### **1. Propriété**

---

Les difficultés inhérentes à la propriété des immeubles à rénover sont considérées comme résolues avec une préférence pour un maintien des propriétaires existants couplée à une promotion du projet par les pouvoirs publics et une participation active des habitants.

Un aménagement de l'intérieur de l'îlot est rendu possible indépendamment du parcellaire existant (remembrement).

### **2. Financement**

---

Les sources de financement ne sont pas prises en compte dans les choix techniques bien que ceux-ci soient établis dans un souci d'économie.

### **3. Règlement d'urbanisme**

---

Les autorisations nécessaires pour comparer différentes solutions techniques tels que l'isolation par l'extérieur, démolition et construction d'annexes, sont considérées comme acquises.

### **4. Simplification**

---

Dans l'impossibilité de disposer de relevés précis de chaque bâtiment, la volumétrie du bâti est simplifiée et les types de parois et de châssis sont uniformisés.

## Outils utilisés

Pour la réalisation de ce travail, j'utilise plusieurs outils informatiques. Dans un souci de clarté pour tous, et aussi pour éviter de fournir des explications sur ces différents outils de manière disparate dans les chapitres suivants, les voici en un seul point réunis.

### 1. Google Sketchup<sup>1</sup>

GOOGLE SKETCHUP est un logiciel de modélisation 3D orienté vers l'architecture. Il se caractérise par des outils simples (rotation, extrusion, déplacement, etc.) ce qui en fait un modèleur 3D accessible à tous. GOOGLE SKETCHUP permet d'exporter les modèles 3D sous différents formats, notamment en « .obj », format également reconnu par TOWNSCOPE (explication de ce logiciel ci-dessous).

### 2. Townscope<sup>2</sup>

Le logiciel TOWNSCOPE, développé par le LEMA (Université de Liège), fournit plusieurs outils d'analyse destinés à étudier l'impact des nouveaux développements sur le microclimat, le paysage et l'énergie :

- Gisement solaire : mesure de l'éclairement solaire direct, diffus et réfléchi;
- Confort thermique : évaluation du confort thermique humain dans les espaces urbains ouverts;
- Ouverture de ciel, longueurs de vues et visibilité donnant les qualités perceptibles dans les espaces urbains ouverts.

### 3. Pleiades+Comfie<sup>3</sup>

PLEIADES+COMFIE est un ensemble logiciel de simulation thermique dynamique de bâtiment, il peut être utilisé pour la conception bioclimatique, l'analyse du confort thermique... Il est composé de plusieurs modules :

- COMFIE est le noyau de calcul;
- PLEIADES est l'interface de saisie des bibliothèques, de gestion du bâtiment, de calcul et d'analyse de résultats;
- ALCYONE est module additionnel fournis avec PLEIADES+COMFIE, il permet une saisie graphique 3D rapide de bâtiments ou de parties de bâtiments simples;
- METEOCALC est module additionnel qui fonctionne avec PLEIADES+COMFIE, il permet de traiter très rapidement des fichiers de données météorologiques horaires pour utilisation dans PLEIADES+COMFIE.

PLEIADES+COMFIE permet de se faire rapidement une idée sur les points forts et les points faibles du bâtiment grâce aux indices suivants:

- Apports solaires bruts : il s'agit de l'énergie qui pénètre dans le bâtiment par

---

1 <http://sketchup.google.com/intl/fr/>

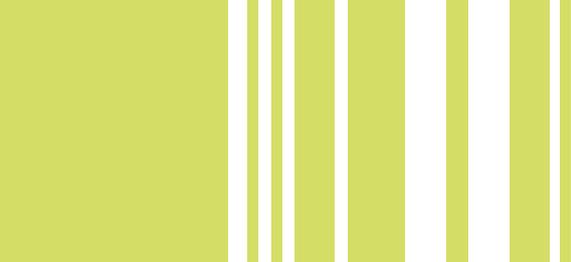
2 <http://www.townscope.com/>

3 <http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie>



les vitrages sur l'année;

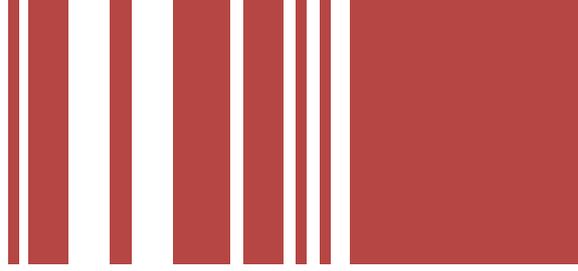
- Besoins Chauff+Froid : cet indice indique la somme des besoins nets de chauffage et de rafraîchissement par m<sup>3</sup>;
- Moyenne Surchauffe Max. : cet indice correspond à la moyenne (en dixième de degré) de dépassement de température durant la période de surchauffe la plus importante;
- Amplification de T°ext : cet indice indique la moyenne des pourcentages journaliers d'amplification de la température extérieure;
- Taux d'inconfort : cet indice correspond au pourcentage de temps d'occupation durant lequel la température a été supérieure à 27°C ou inférieure à 15°C (ces températures sont réglables);
- Part de besoins nets : cet indice correspond au pourcentage de besoins nets de chauffage par rapport aux besoins de base (déperditions);
- Déperditions : cette valeur correspond aux déperditions de chaque zone.





# MÉTHODE DE TRAVAIL

<b>Description de la méthode</b>	35
<b>1. Évaluation de la situation existante</b>	35
1.1. Étude du site	35
1.2. Bilan énergétique	35
1.3. Analyse solaire	35
<b>2. Sélection des moyens d'action possibles</b>	35
<b>3. Élaboration des solutions techniques</b>	36
<b>4. Application des solutions techniques</b>	36
<b>5. Calcul du coût des stratégies de rénovation</b>	37
<b>6. Analyse multicritère des stratégies de rénovation</b>	37
<b>7. Développement d'une proposition d'aménagement de l'îlot</b>	37







## Description de la méthode

### 1. Évaluation de la situation existante

---

#### 1.1. Étude du site

---

Tout projet d'architecture s'inscrit dans un environnement dont il faut tenir compte lors de la conception. Un état des lieux de la situation existante est établi, aussi bien du point de vue morphologique, fonctionnel que sociologique, afin de dégager les potentiels du site et d'en cerner les limites d'application.

#### 1.2. Bilan énergétique

---

Un peu à la manière d'un audit énergétique mais en utilisant d'autres outils, je réalise une évaluation énergétique de l'îlot dans le but de mettre en évidence les gaspillages d'énergie, de proposer des améliorations possibles et d'avoir une estimation actuelle de la dépense d'énergie (par la suite, celle-ci sera utile pour calculer le gain d'énergie après la rénovation).

Voici les différentes étapes de ce travail :

- Modélisation de l'îlot dans ALCYONE sur la base d'un plan PICC et des photos des façades de chaque bâtiment;
- Simulation énergétique dans PLEIADES+COMFIE qui déterminera la consommation d'énergie de chauffage en Kwh/m<sup>2</sup>année et d'autres valeurs clés (apports solaires etc.).
- Analyse des résultats selon le type de bâtiment, d'orientation ...

#### 1.3. Analyse solaire

---

Dans le cadre d'une rénovation environnementale, au delà de l'amélioration de l'enveloppe, du système de chauffage et du système de ventilation du bâtiment, il est intéressant d'intégrer des technologies de production d'énergie. En effet les toitures constituent un potentiel non négligeable de surfaces exploitables pour y installer des capteurs solaires.

Il est opportun de déterminer les zones où l'énergie solaire est suffisante pour obtenir un rendement convenable des capteurs. C'est à l'aide du logiciel TOWNSCOPE que sont mesurés l'éclairement solaire direct, diffus et réfléchi sur les parois des bâtiments.

### 2. Sélection des moyens d'action possibles

---

Selon l'évaluation de la situation existante, je détermine les différents types de stratégie de rénovation envisageable. J'explique aussi pourquoi certains choix ne sont pas retenus.

### 3. Élaboration des solutions techniques

Pour chaque stratégie envisagée (tel type d'isolation, tel type de châssis,...), une fiche technique est élaborée, celle-ci reprends les informations suivantes :

- Plan de détails;
- Matériaux utilisés;
- Coefficient de transmission thermique de la paroi «U» avant et après amélioration;
- Prix à l'unité ou au mètre carré;
- Toute autre information nécessaire (mise oeuvre, spécificité technique,...).

Étant donné que dans un îlot urbain il y a plusieurs types de bâtiments similaires en beaucoup de point (type de mur, type de toiture ...), la résolution d'un problème technique sur un bâtiment peut donc être généralisée.

Chaque projet de rénovation contribuera à l'alimentation progressive d'une base de donnée de référence exploitable pour les projets ultérieurs. La mise à disposition de ces informations pourrait ainsi contribuer au bon développement de projets de rénovation d'îlot urbain.

### 4. Application des solutions techniques

Cette étape consiste à étudier les impacts sur la consommation énergétique du bâtiment lorsque l'on applique les différentes améliorations aux parois. Il s'agit de faire varier une série de paramètres dans la modélisation de l'îlot réalisée avec ALCYONE, c'est le logiciel PLEIADES+COMFIE qui permet de réaliser cette opération

Voici la liste des variables:

- Composition de paroi;
- Type de vitrage et de châssis;
- Chauffage;
- Ventilation;
- Occupation;
- Orientation;
- Masques solaires;
- ...

Après cette première étude, différentes stratégies de rénovation possibles sont envisagées, chacune est une combinaison d'améliorations appliquées aux bâtiments (par exemple: isolation des murs + isolation du toit + ventilation double flux).



## **5. Calcul du coût des stratégies de rénovation**

Le coût de chaque stratégie de rénovation est estimé en vue de les comparer.

Cette estimation, HTVA, hors primes, ne prend pas en compte les effets collatéraux tels que:

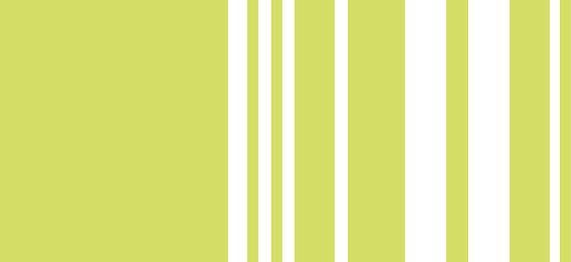
- Relogement des habitants;
- Aménagements intérieurs;
- ...

## **6. Analyse multicritère des stratégies de rénovation**

Une analyse multicritère permet d'effectuer un choix entre les différentes stratégies de rénovation envisagées. Le principe consiste à identifier des critères significatifs (par exemple: gain énergétique, coût, faisabilité, etc.), de les pondérer et ensuite de les noter.

## **7. Développement d'une proposition d'aménagement de l'îlot**

En complément, un schéma d'intention de l'aménagement du coeur d'îlot est proposé, ainsi qu'une esquisse des nouvelles constructions.





# APPLICATION

<b>Choix de l'îlot</b>	45
1. Étude de l'UCL	45
2. Identification d'un quartier	45
3. Identification d'un îlot en Outremer	46
3.1. Évolution du tissu urbain	46
3.2. Évolution de l'ensemble «Place du Congrès»	46
3.3. Choix d'un îlot autour de la Place du Congrès	47
<b>Analyse de la situation existante</b>	48
1. Le quartier	48
1.1. Contexte historique	48
1.2. Contexte sociologique et économique	48
2. L'îlot	49
2.1. Implantation	49
2.2. Parcellaire	50
2.3. Surfaces et dimensions	50
2.4. Règlement d'urbanisme	50
3. Les rues et la place	53
3.1. Morphologie	53
3.2. Conclusion	53
4. Le coeur d'îlot	54
4.1. Morphologie	54
4.2. Conclusion	54
5. Le bâti	57
5.1. Les bâtiments d'origine	57
5.2. Les annexes	60
5.3. L'immeuble d'appartements	63
5.4. Carte des typologies	63
5.5. Fonctions	63
5.6. Conclusion	63
6. La végétation	63
7. Bilan énergétique de l'existant	64
7.1. Modélisation dans ALCYONE	64
7.2. Modélisation énergétique dans PLEIADE+COMFIE	67
7.3. Résultats de la simulation énergétique	68
7.4. Analyse solaire	72
<b>Moyens d'action</b>	74
1. Énergie	74

1.1. Isolation des parois	74
1.2. Remplacement des châssis et vitrages	75
1.3. Remplacement des anciennes chaudières	76
1.4. Installation d'un système de ventilation	76
1.5. Sources énergétiques renouvelables	78
1.6. Comportement	79
<b>2. Gestion de l'eau de pluie</b>	<b>80</b>
<b>3. Les volumes annexes</b>	<b>80</b>
<b>4. Aménagement du coeur d'îlot</b>	<b>81</b>
<b>5. Choix des matériaux de construction</b>	<b>83</b>
<b>Dossier techniques</b>	<b>85</b>
<b>Application à l'enveloppe des solutions techniques</b>	<b>97</b>
<b>1. Comparatif des améliorations</b>	<b>97</b>
1.1. Isolation des toitures	98
1.2. Remplacement des châssis	100
1.3. Isolation des murs	102
1.4. Isolation des dalles	104
1.5. Ventilation double flux	106
1.6. Coût des améliorations	110
1.7. Conclusion	110
<b>2. Stratégies de rénovation</b>	<b>113</b>
2.1. Choix des variantes	113
2.2. Variante I	113
2.3. Variante II	113
2.4. Variante III	113
2.5. Variante IV	114
<b>Analyse multicritère</b>	<b>119</b>
<b>1. Introduction</b>	<b>119</b>
<b>2. Analyse</b>	<b>119</b>
2.1. Détermination des critères et de leur pondération	119
2.2. Cotation des variantes	119
<b>3. Conclusion</b>	<b>122</b>
3.1. Variantes maisons	122
3.2. Variantes immeuble	122
3.3. Combinaison	123
1.1. Énergie photovoltaïque	124

<b><u>Application des systèmes d'énergie renouvelables</u></b>	124
1.2. Énergie solaire thermique	125
<b><u>Aménagement de l'espace public</u></b>	127
1. Schéma d'intentions	127
2. Exemples d'aménagement	129

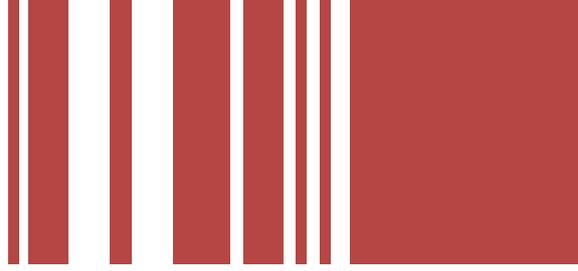


FIGURE 2: Typologie prioritaire n°2

**2. MAISON URBAINE MOYENNE, DÉBUT DU 20<sup>e</sup> SIÈCLE**



Maison mitoyenne ou semi-mitoyenne, 5 à 6 m de façade, taille moyenne à grande : plafonds hauts, rez + premier + combles, caves (voussettes) – Façades avant : détails, ornements (balcons, pierre...) - Souvent manque de lumière naturelle au rez - À l'arrière : annexes (+ récentes, qualité médiocre ) – Matériaux «traditionnels» + industriels - Gaz naturel généralement disponible

± 16% des logements construits avant 1991

FIGURE 3: Typologie prioritaire n°4

**4. MAISON OUVRIÈRE, « MODESTE »**



Maison mitoyenne, datant d'avant 1945, très petits volumes, plafonds assez bas, hall d'entrée souvent absent, 2 pièces au rez, 2 pièces au premier étage, petite cave - Simplicité constructive - Souvent en mauvais état, problèmes d'insalubrité fréquents - Gaz naturel généralement disponible (mais chauffage au charbon encore fréquent)

± 18% des logements construits avant 1991

FIGURE 4: Typologie prioritaire n°8

**8. APPARTEMENT DANS UN « BÂTIMENT DIVISÉ EN PLUSIEURS UNITÉS DE LOGEMENT »**



Différentes configurations et âges de bâtiments - Cette catégorie est importante car ces logements sont le plus souvent loués (parc locatif privé, comblant le déficit en logements sociaux) et concentrent les problèmes de salubrité et de qualité

± 6% des logements construits avant 1991

## 1. Étude de l'UCL

L'étude réalisée par l'UCL, « La rénovation énergétique et durable des logements wallons ; Analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires », a pour objectif de dégager des potentiels d'amélioration et priorité d'action en termes de rénovation énergétique et durable du parc de logements wallons. Cet ouvrage est donc une excellente base pour le sujet qui m'intéresse.<sup>1</sup>

## 2. Identification d'un quartier

L'étude de l'UCL met en évidence 8 typologies de logements prioritaires. Étant donné que le sujet de ce travail de fin d'études porte sur des habitations d'îlots urbains construites avant 1950, les 3 typologies prioritaires (figures 2,3 et 4) qui conviennent sont les suivantes :

- Maison urbaine moyenne, début du 20<sup>e</sup> siècle (typologie n°2)
- Maison ouvrière « modeste » (typologie n°4)
- Appartement dans un « bâtiment divisé en plusieurs unités de logement » (typologie n°8)

Mon intérêt étant de travailler sur un îlot existant, il s'agit d'en choisir un dont les bâtiments qui le composent sont majoritairement d'une ou plusieurs de ces 3 typologies, donc un îlot présentant une certaine homogénéité du bâti. Le choix se porte sur un îlot d'un quartier de la ville de Liège, à proximité de mon lieu de résidence.

Plusieurs quartiers de la ville semblent à première vue répondre à ces critères, par exemple:

- L'ensemble de maisons ouvrières situées entre la Meuse et la gare de Kinkempois (typologie n°4)
- Les maisons bourgeoises situées autour de l'avenue du Luxembourg (entre le quai des Ardennes et le boulevard Emile de Leveleye) (typologie n°2)
- Certains îlots du quartier Saint-Léonard (typologie n°4 et n°2)
- Certains îlots d'Outremeuse ((typologie n°2)
- ...
- 

Mon choix se porte sur le quartier d'Outremeuse.

1 Résumé de l'étude en annexe, page 141



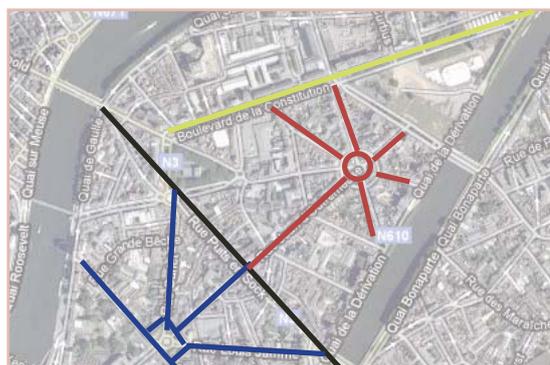
FIGURE 5: Centre de la ville de Liège - quartier d'Outremeuse

### 3. Identification d'un îlot en Outremeuse

#### 3.1. Évolution du tissu urbain

Le développement du tissu urbain en Outremeuse peut se décomposer en 4 phases, celles-ci sont caractérisées par la création des axes et places suivantes :

- Chaussée des Prés et rue Puits-en-Sock : cet axe est la première ligne de croissance du quartier, il est déjà représenté sur une carte datant de 1700, les plus petites rues se développent à partir de cet axe; —
- Place Delcour : cette place rectangulaire constitue un nouveau pôle de croissance, d'après les cartes elle apparaît entre 1827 et 1866; —
- Place du Congrès et rue Jean d'Outremeuse : la rue Jean d'Outremeuse relie la place Delcour à la place du Congrès qui constitue un nouveau pôle de croissance, 7 rues rayonnent autour de cette place, le développement de cette partie du quartier se fait autour des années 1900; —
- Boulevard de la Constitution, boulevard Saucy et place de Lyser : dernière évolution majeure, elle résulte du comblement des dernier bras de la Meuse qui conduit à la réalisation du boulevard de la Constitution, du boulevard Saucy et de la place de l'Yser, cette évolution est visible sur une carte datant de 1880<sup>1</sup>. —



La visite de terrain permet d'identifier des îlots de typologie 2 (maison urbaine moyenne du début du 20<sup>e</sup> siècle) autour de la place du Congrès.

#### 3.2. Évolution de l'ensemble «Place du Congrès»

La place du Congrès est un pôle de croissance autour duquel le bâti, de typologie « maison urbaine mitoyenne du début du 20<sup>e</sup> siècle », s'est développé de manière

1

PIERSON, UYTTEBROUCK, Étude du quartier d'Outremeuse, Urbanisme et Sitologie, 2009



FIGURE 6: Situation en 1883



FIGURE 7: Situation en 1912

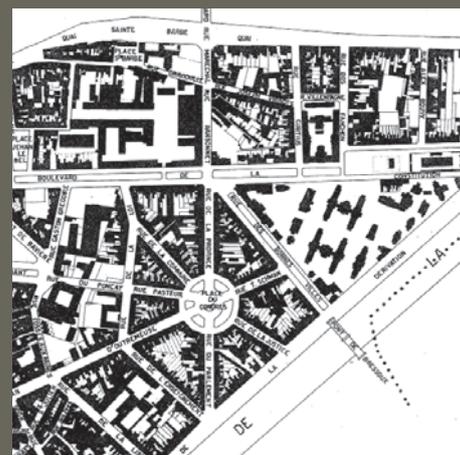


FIGURE 8: Situation en 1938



rapide et dense, ce qui a mené à la construction d'un ensemble architectural homogène et cohérent autour de cette place. Le sujet de l'étude se porte sur un des îlots entourant la Place du Congrès.

### 3.3. Choix d'un îlot autour de la Place du Congrès

Il y a 7 îlots autour de la place du Congrès, la forme de ceux-ci est déterminée par le système viarie radioconcentrique mis en place. Chacun des îlots présente son plus petit côté face à la place du Congrès, 2 côtés faisant face aux îlots voisins tandis que 3e ou 4e côté est situé différemment selon la position de l'îlot :

- Le long de la Meuse : îlots 1 et 7;
- Le long du terrain vague laissé par la destruction de l'hôpital de Bavière : îlots 1 et 2;
- Le long du boulevard de la constitution : îlot 3;
- Vers le centre du quartier d'Outremeuse : îlots 3, 4, 5 et 6.

En vue de travailler sur un cas généralisable, je choisis donc une configuration d'îlot représentative en plusieurs points:

- Dimension d'îlot générant un espace en coeur d'îlot de taille représentative d'autres îlots;
- Les rues délimitant l'îlot sont bordées d'un front bâti de part et d'autre;
- Pas ou peu de dents creuses.

L'îlot 6, délimité par les rues Jean d'Outremeuse, du Parlement, de l'Enseignement et par la place du Congrès, correspond à ces critères et peut donc être l'objet de l'étude.



FIGURE 9: Îlots entourant la Place du Congrès (Google Earth)

## Analyse de la situation existante

Il est important d'évaluer les qualités et défauts du site pour ensuite en dégager le potentiel.

### 1. Le quartier

#### 1.1. Contexte historique

Le quartier d'Outremeuse est un des plus anciens et des plus populaires de la ville de Liège.

En wallon, le quartier d'Outremeuse est dénommé *Dju d'la Mouse* qui signifie au delà de la Meuse.

À l'origine, le terme désignait le quartier situé en rive droite, face au centre historique de la ville de Liège, situé en rive gauche. Aujourd'hui il désigne l'ensemble du quartier situé entre le fleuve et la dérivation depuis les réaménagements fluviaux du 19<sup>e</sup> siècle.

Le quartier a également abrité durant plusieurs siècles l'hôpital de Bavière, aujourd'hui démoli. Un projet immobilier de grande ampleur devrait voir le jour sur ce site.

#### 1.2. Contexte sociologique et économique

Deux célébrités sont attachées au quartier d'Outremeuse :

- Goerges Simenon : il y a vécu les premières années de sa vie et a écrit « Le pendu de Saint-Pholien » en référence à une des paroisses du quartier, on retrouve notamment une rue et une auberge de jeunesse qui porte son nom aujourd'hui, ainsi qu'un buste à son effigie au centre de la place du Congrès;
- Tchantchès : est une figure folklorique et emblématique du quartier d'Outremeuse; à l'origine une marionnette à tringle en costume traditionnelle liégeois.

L'événement principal de l'année est la fête du 15 août en Outremeuse, fête religieuse et populaire qui se déroule en 3 jours, dont le personnage Tchantchès se trouve au cœur.

Le quartier regorge de commerces en tout genre (grandes surfaces, commerces de proximité, restaurants, cafés,...) ce qui permet à la population d'Outremeuse et des alentours de s'approvisionner sans s'éloigner de leur domicile. On pourrait d'ailleurs qualifier le quartier « d'autonome » à ce niveau-là.

Il y a plusieurs écoles, du cycle inférieur et supérieur, la principale étant Saint Luc (architecture et beaux-arts). Il y a donc un nombre important de logements pour étudiants dans le quartier, les autres écoles présentes à Liège et surtout l'Université de Liège renforce aussi la présence de kot. L'ambiance qui règne en Outremeuse est également un facteur d'attractivité pour les étudiants.



La population du quartier d'Outremeuse semble très hétérogène, dans les rues, on croise aussi bien des personnes âgées que des étudiants, des personnes d'origines étrangères, des jeunes couples... Par contre, il apparaît clairement que les citoyens plus nantis ne vivent pas dans ce quartier, mais bien les personnes à revenus moyens ou faibles. On peut qualifier le quartier de «populaire».

## 2. L'îlot

### 2.1. Implantation

L'îlot choisi est de forme trapézoïdale, et l'orientation des façades à rue est la suivante :

- Rue Jean d'Outremeuse : nord ouest;
- Rue de l'Enseignement : sud sud ouest;
- Rue du Parlement : nord ouest.
- Place du Congrès : nord nord ouest



FIGURE 10: Îlot sélectionné autour de la Place du Congrès (Google Earth)

## 2.2. Parcellaire

Étant donné l'évolution planifiée de cette partie du quartier, le découpage parcellaire est quasi systématique dans chacun des îlots (voir figure 12). Les parcelles sont perpendiculaires à la voirie et étroites, leur longueur varie selon leur position le long des différentes rues. Le découpage des fonds de parcelle est systématiquement en diagonale. Ceci est relatif à la forme générale de l'îlot. Il n'y a pas ou peu d'évolution du système parcellaire depuis sa mise en place à la fin du 19<sup>e</sup> siècle.

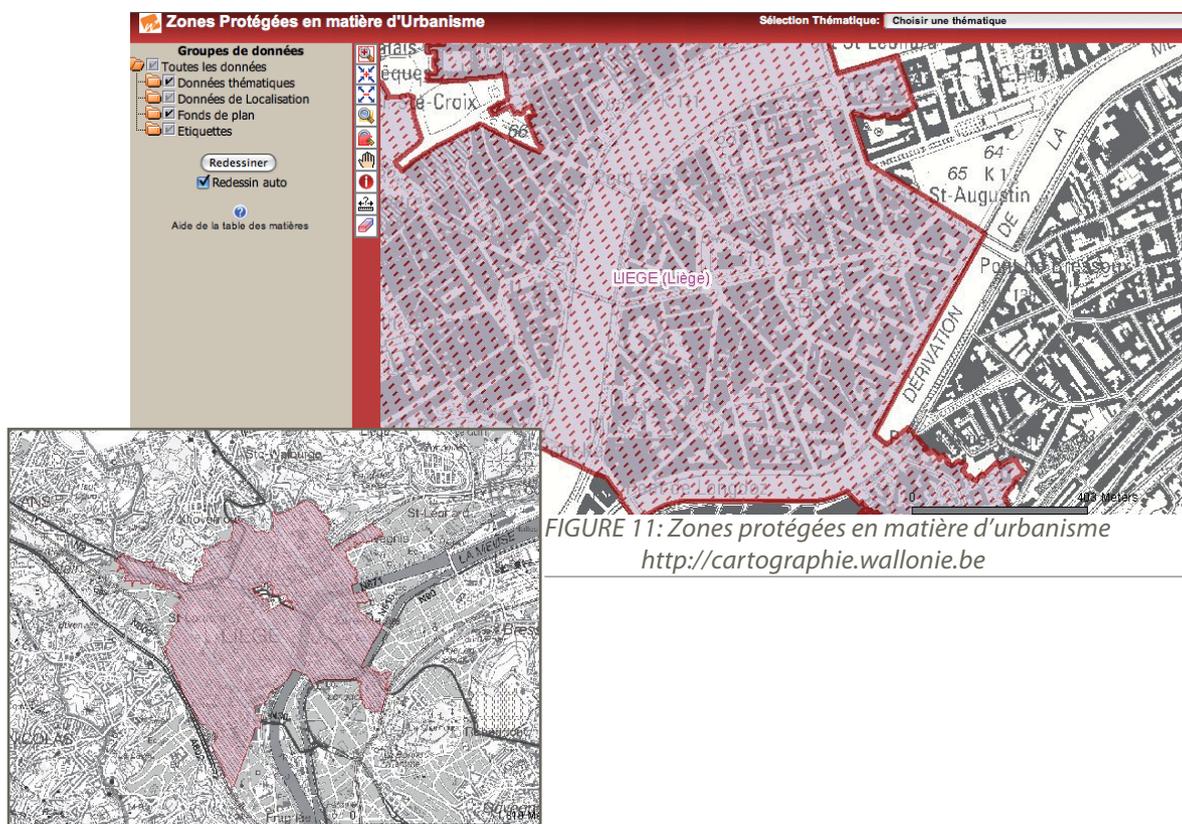
## 2.3. Surfaces et dimensions

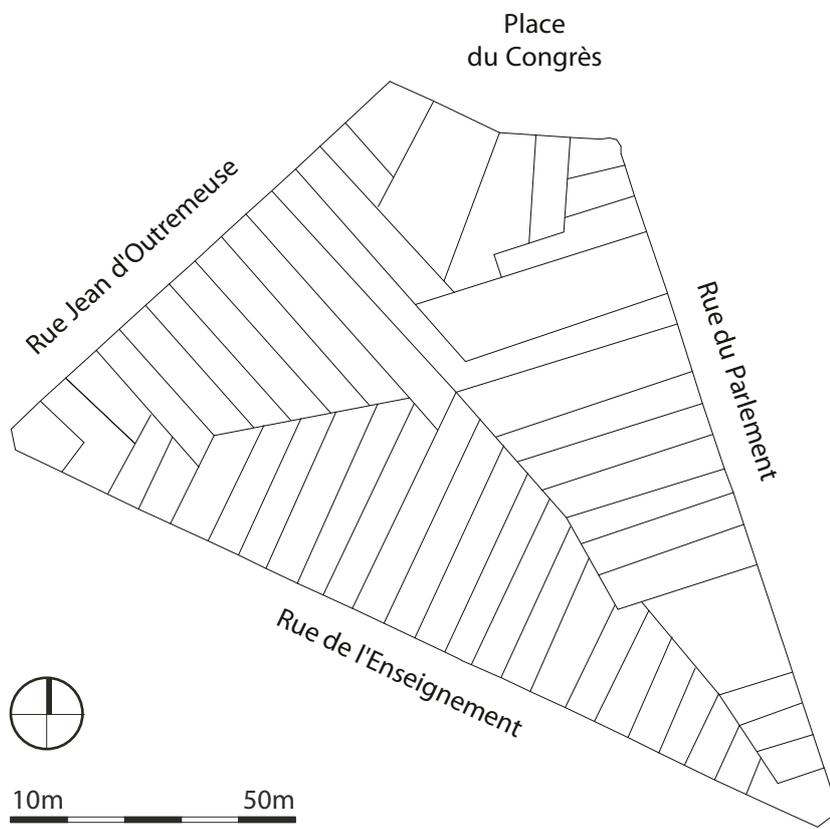
La surface bâtie (annexes + corps d'habitation) occupe 67% de la surface totale de l'îlot, dont 27% uniquement pour les annexes (voir figure 13).

## 2.4. Règlement d'urbanisme

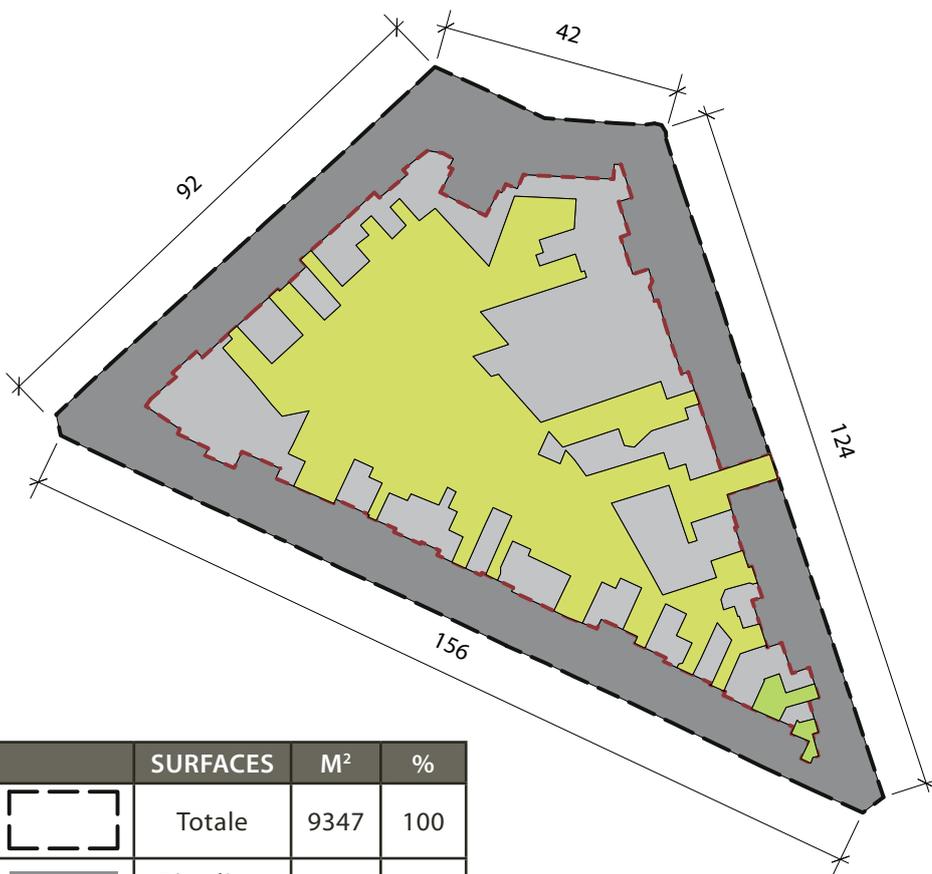
L'îlot choisi étant situé dans le périmètre du centre ancien protégé de la ville de Liège, les prescriptions particulières reprises au RCU (Règlement Communal d'Urbanisme) et au CWATUPE<sup>1</sup> (Code Wallon de l'Aménagement du Territoire, de l'Urbanisme, du Patrimoine et de l'Énergie) conditionnent les options d'aménagement. Mais comme il l'a été précisé dans l'hypothèse, certaines libertés sont prises de manière à étudier des solutions envisageables dans des îlots qui ne sont pas situés dans de telles zones.

1 Voir annexes, page 150





10m 50m



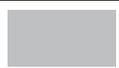
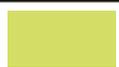
	SURFACES	M <sup>2</sup>	%
	Totale	9347	100
	Bâti d'origine	3759	40
	Coeur d'îlot	5598	60
	Annexes	2545	27
	Jardins	3053	33

FIGURE 12: Plan du parcellaire obtenu sur base du plan PICC

FIGURE 13: Surfaces des différentes zones composant l'îlot

FIGURE 14: Plan des rues et de la place autour de l'îlot

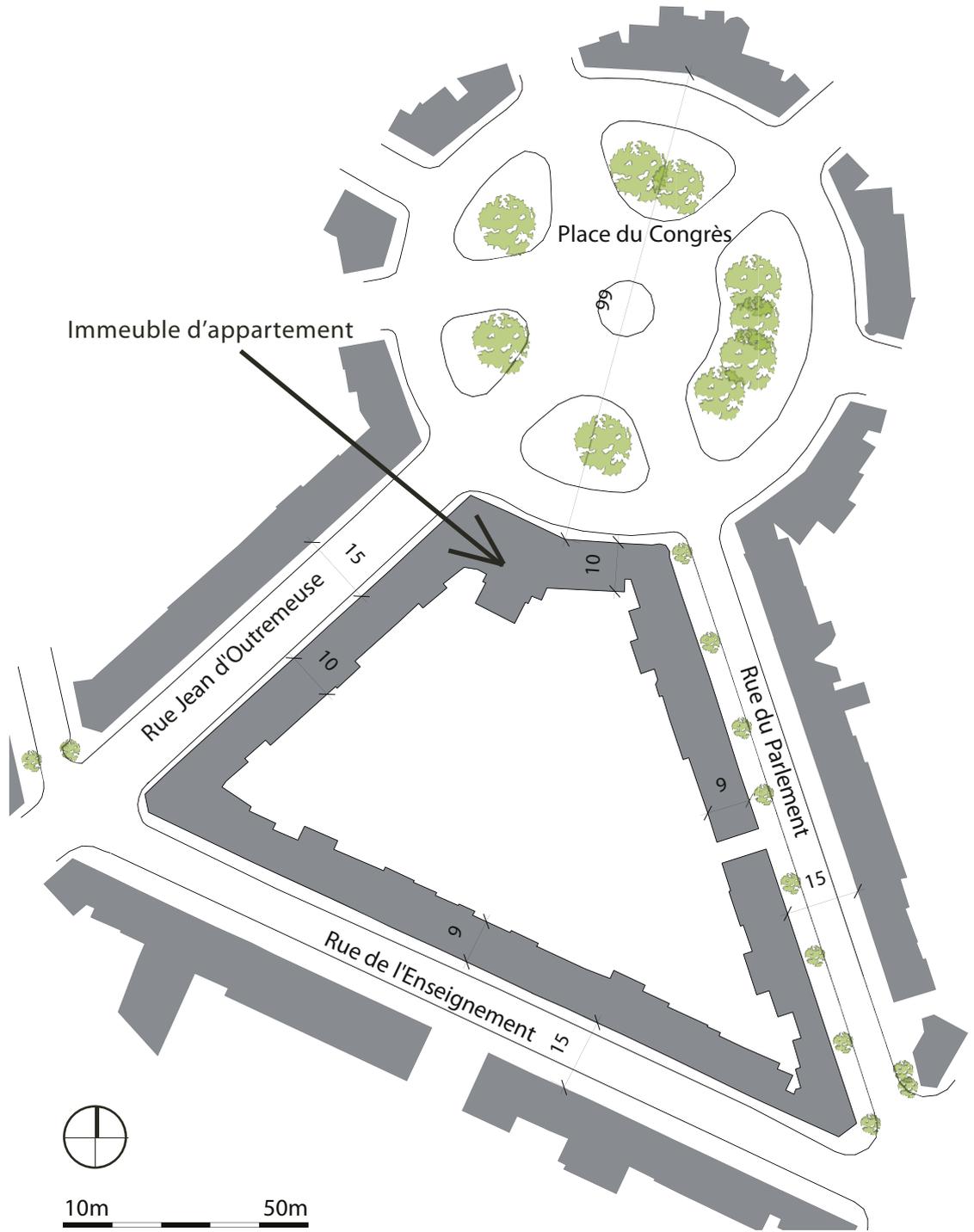


FIGURE 15: Rue du Parlement et rue Jean d'Outremeuse





### 3. Les rues et la place

---

#### 3.1. Morphologie

---

Chacune des rues est large d'une quinzaine de mètres et est délimitée par un front bâti dense et aligné. La hauteur des bâtiments varie le plus souvent entre 8 et 12 mètres. De manière générale, les versants de toiture ne sont pas visibles depuis l'espace rue étant donné la largeur de la voirie, la hauteur des façades et le débordement des corniches. Il y a un trottoir plus ou moins large de part et d'autre de la voirie ainsi que des places de parking. Un alignement d'arbres de tailles moyennes ponctue le trottoir le long de la rue du Parlement.

La place du Congrès a un diamètre de +/- 100 mètres, son cœur est un rond point où chaque rue délimitant les îlots se rencontrent. L'anneau extérieur de la place est constitué de parking tandis qu'un espace tampon entre ces deux parties est composé de zones vertes plantées de grands arbres.

#### 3.2. Conclusion

---

La rue n'est d'autre que l'espace vide laissé par les constructions. Les bâtiments étant alignés le long de la voirie, d'hauteurs similaires et mitoyens, la lecture des rues, des carrefours et de la place est fluide. C'est une configuration très classique que l'on retrouve dans beaucoup de quartier de la ville.



FIGURE 16: Place du Congrès (vue depuis le toit de l'immeuble d'appartements)

## 4. Le coeur d'îlot

---

### 4.1. Morphologie

---

Le parcellaire étant le guide de l'évolution du bâti, les annexes construites à l'intérieur de l'îlot ne respectent pas d'alignement et sont souvent de forme hybride. Les extensions s'implantent toujours contre les façades des bâtiments, elles atteignent parfois le fond de parcelle. Dans les coins intérieurs de l'îlot l'organisation est chaotique.

Les différentes parcelles sont séparées le plus souvent par des murets de +- deux mètres de haut.

Les espaces non construits sont constitués de zones minérales le long des bâtiments, et de zones de jardin, parfois plantées d'arbres, situés en fond de parcelle. La carte ci-contre reprend les types de surfaces qu'il y a en cœur d'îlot (les zones minérales sont évaluées sur la base d'une image satellite).

### 4.2. Conclusion

---

Cette organisation chaotique en cœur d'îlot s'oppose au rythme clair donné par les façades à rue. Une extension du bâti sur une parcelle déjà étroite ne laisse que peu d'espace pour un jardin. Le découpage des parcelles génère des zones exiguës. Les extensions font perdre la qualité intrinsèque du bâti d'origine. De plus elles diminuent considérablement la surface d'imprégnation de l'eau de pluie, ainsi que les zones minéralisées (terrasses en zone de cour et jardin), qui dans les villes sont souvent insuffisantes. La densification des constructions annexes en intérieur d'îlot réduisent la qualité de vie des habitants (ombre, vues directes chez les voisins, esthétique,...)



FIGURE 17: Coeur de l'îlot (vue depuis le toit de l'immeuble d'appartements)

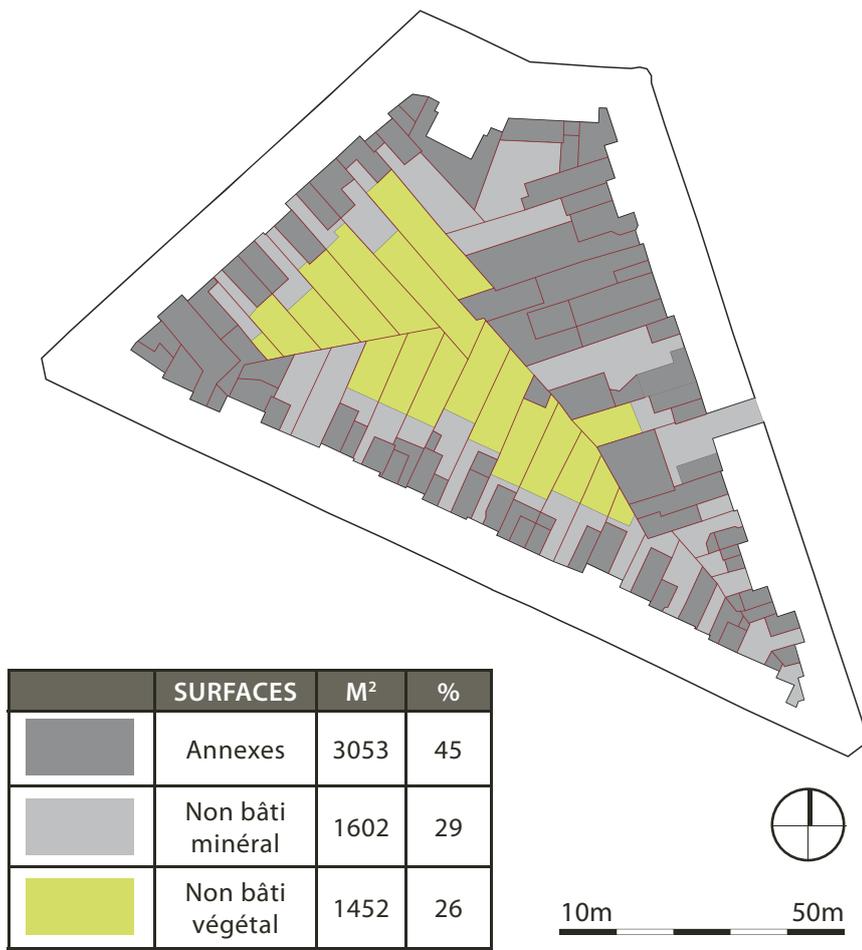


FIGURE 18: Les différents types de couverture du sol en coeur d'îlot



FIGURE 19: Coeur de l'îlot (vues depuis le toit de l'immeuble d'appartements)

FIGURE 20: Bâti d'origine



FIGURE 21: Annexes



FIGURE 22: Immeuble d'appartements





## 5. Le bâti

On retrouve trois grandes catégories de bâtiment dans l'îlot :

- Les bâtiments d'origine (volume principal)
- Les annexes
- L'immeuble d'appartements

### 5.1. Les bâtiments d'origine

Les volumes principaux sont implantés à front de voirie fermant l'îlot, à l'exception d'une dent creuse rue du Parlement.

Le bâti d'origine présente un caractère homogène fort avec cependant certaines particularités. Voici donc une analyse sous forme de fiche, la première reprend toutes les caractéristiques communes tandis que les suivantes isolent les quelques variantes que l'on retrouve. Le but du travail n'est pas de faire un relevé précis des bâtiments, des hypothèses sont donc posées.

CARACTÉRISTIQUES COMMUNES DES BÂTIMENTS D'ORIGINE	
<b>Généralités</b>	
Dénomination	Maison urbaine moyenne du début du 20 <sup>e</sup> siècle
Année de construction	Entre 1890 et 1912
Nombre de bâtiments dans l'îlot	57
Fonction primitive	Maison individuelle
Fonction actuelle	Habitat collectif et maison individuelle
<b>Façade</b>	
Matériau principal de parement	Brique en terre cuite (rouge-brun)
Matériau secondaire en parement	Pierre
Ornementation	Encadrement, linteau, frises... en pierre sculptée; bauwindows, boiserie travaillées (corniches, porte d'entrée...)
Composition des murs	Brique pleine, non isolé
Épaisseur de mur	+/- 36 cm
Pourcentage de vitrage en façade	De 25 à 35 %
Châssis, vitrage	Bois, simple
<b>Toiture</b>	
Forme	Double pente ou mansardée
Pente	25° à 50°
Revêtement	Variable: tuiles, ardoises naturelles ou artificielles
État	Moyen à mauvais, non isolée (hypothèse)
Ouverture	Fenêtre de toiture et/ou lucarne
Cheminée	1 ou 2 par habitation
<b>Locaux</b>	
Sous-sol	Oui, pas totalement enterré
Combles	Oui

### TYOLOGIE 1 – R+1 MITOYEN



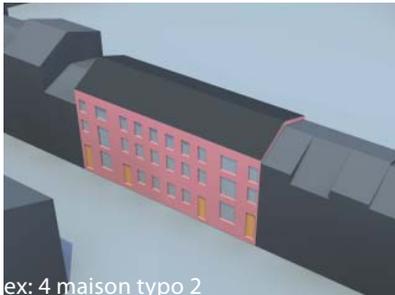
ex: 2 maisons typo 1



#### Caractéristiques

Niveaux	2
Mitoyenneté	Double
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	10
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	3

### TYOLOGIE 2 – R+2 MITOYEN



ex: 4 maison typo 2



#### Caractéristiques

Niveaux	3
Mitoyenneté	Double
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	39
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	3

### TYOLOGIE 3 – R+3 MITOYEN



ex: 1 maison typo 3



#### Caractéristiques

Niveaux	4
Mitoyenneté	Double
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	2
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	6

### TYPOLOGIE 4 – R+2 MITOYEN EN COIN



ex: 1 maison typo 4



#### Caractéristiques

Niveaux	3
Mitoyenneté	Double
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	2
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	4

### TYPOLOGIE 5 – R+3 MITOYEN EN COIN



ex: 1 maison typo 5



#### Caractéristiques

Niveaux	4
Mitoyenneté	Double
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	2
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	9

### TYPOLOGIE 6 – R+2 SEMI MITOYEN



ex: 1 maison typo 6



#### Caractéristiques

Niveaux	2
Mitoyenneté	Simple
Annexe	Oui
Nombre de bâtiment dans l'îlot	2
Nombre présumé d'habitant par bâtiment	3

## 5.2. Les annexes

Beaucoup d'annexes ont été construites durant la même période que les volumes principaux, voir en même temps (voir cartes historiques p\*\*\*). Cependant la construction d'extensions a continué de manière étalée dans le temps et souvent sans réel contrôle urbanistique. Ces petites constructions ont subi maintes restructurations. Elles répondent à un manque d'espace dans les habitations, notamment parce qu'à l'origine, l'organisation des maisons était différente d'aujourd'hui, et aussi parce qu'au fil du temps beaucoup des maisons individuelles se sont transformées en appartements C'est donc une manière d'agrandir les appartements du rez de chaussée et du premier étage (les annexes sont construites sur deux niveaux généralement).

Trois constructions en cœur d'îlot ne sont pas destinées à agrandir l'habitat : la première est le parking situé sous l'immeuble d'appartement, la seconde est un atelier, aujourd'hui désaffecté, et la dernière est une habitation assez récente (ce n'est donc pas une annexe mais elle est classée dans ce chapitre vu la situation du bâtiment).

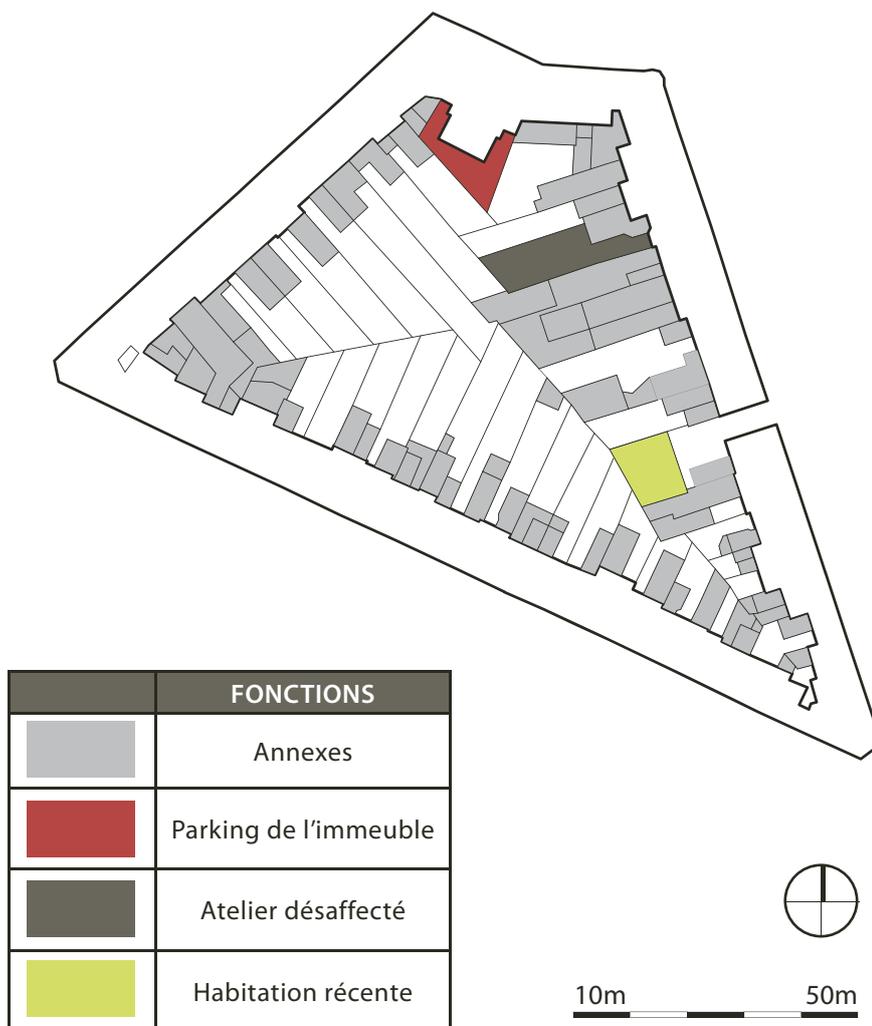
Les volumes secondaires sont accolés à la façade arrière, ce qui diminue l'apport de lumière dans le cœur du foyer. Parfois, ils atteignent le fond de parcelle. L'extension peut se faire en plusieurs phases. La volumétrie des annexes, souvent complexe (manque de compacité), leur éparpillement dans la parcelle (pas toujours de mitoyenneté) et leur construction peu élaborée en font une source de déperdition énergétique importante. Les photos présent à partir du toit de l'immeuble d'appartement témoignent d'une vétusté évidente des annexes.

Les annexes ne répondent pas réellement à une «règle architecturale», il est difficile de les classifier. Mais établissons tout de même les caractéristiques générales de ces constructions dans le tableau ci-joint.



FIGURE 23: Les 4 fonction des annexes

FIGURE 25: Plan des fonctions des annexes



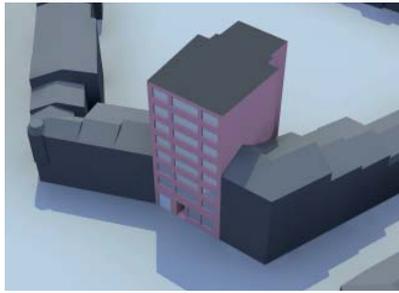
### CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES ANNEXES



#### Généralités

Année de construction	Variables: de 1900 à nos jours
<b>Façade</b>	
Matériau principal de parement	Briques, briques peintes
Composition des murs	Brique pleine
Châssis, vitrage	Bois, simple
<b>Toiture</b>	
Forme	Variable: plate, pente simple ou double,..
Revêtement	Variable: tuile, ardoise, zinc, type «Roofing»,...
Cheminée	1 à 2 par annexe avec extension

## TYOLOGIE 7 – R+8 IMMEUBLE D'APPARTEMENTS



### Généralités

Dénomination	Immeuble d'appartement
Année de construction	Années 60 -70
Niveaux	9
Hauteur estimée	30 m
Nombre présumé d'habitant	24
Consommation de mazout moyenne	25.000 litres

### Façade

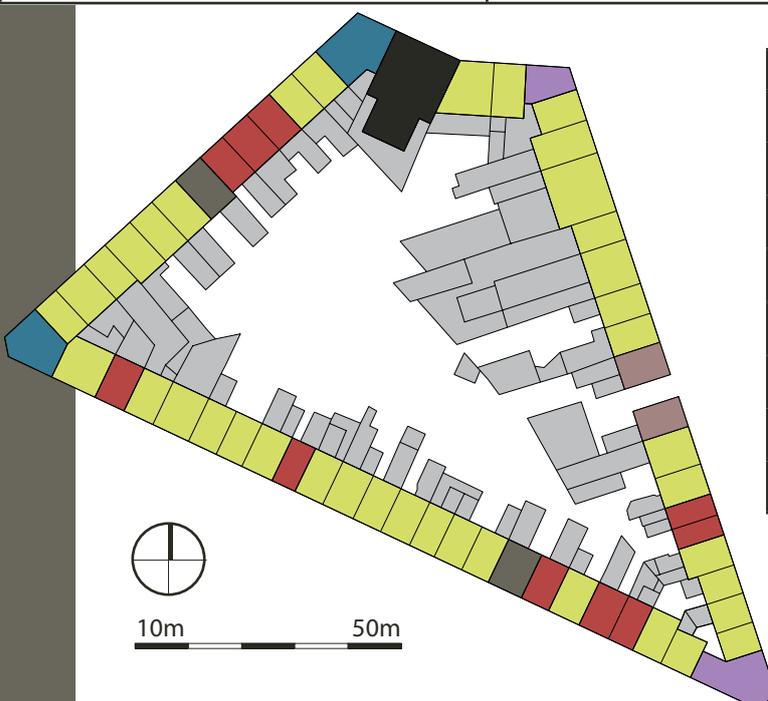
Matériau principal de parement	Brique jaune en façade, brique rouge en pignon
Matériau secondaire en parement	Pierre
Ornementation	Aucune
Composition supposée des murs	Brique 9 cm Isolation 5 cm Béton 19 cm
Pourcentage de vitrage en façade	De 25 à 35 %
Châssis, vitrage	Pvc, double (après première rénovation)

### Toiture

Forme	Plate
Revêtement	Étanchéité bitumineuse
Cheminée	4

### Locaux

Par étage	1 studio + 2 appartements
Sous-sol	2 niveaux de parking
Rez de chaussée	Profession libérale



		TYPOLOGIE	NOMBRE
	1	R+1 mitoyen	10
	2	R+2 mitoyen	39
	3	R+3 mitoyen	2
	4	R+2 mitoyen en coin	2
	5	R+3 mitoyen en coin	2
	6	R+2 semi-mitoyen	2
	7	R+8 immeuble	1
		+/- 1 annexe/bâtiment	

FIGURE 26: Carte des typologies du bâti



### 5.3. L'immeuble d'appartements

C'est un immeuble construit durant les années 60 comme il y en a beaucoup dans la cité ardente, il prend la place de deux maisons d'origine de l'îlot. Les façades, orientées Nord – Sud, sont largement vitrées tandis que les pignons sont aveugles. C'est le seul bâtiment de ce type dans l'îlot et autour de la place du Congrès, son architecture pauvre tranche clairement avec le bâti d'origine. Cet immeuble correspond avec la typologie prioritaire numéro 8 : appartement dans un immeuble type « Étrimo ».

#### **Estimation de l'énergie de chauffage:**

Consommation moyenne annuelle de mazout: 27.000 litre (donnée du responsable)

Rendement de la chaudière: 80% (supposée)

Pouvoir calorifique théorique de 9,96 kWh/litre

**Énergie de chauffage: 27.000 x 9,96 x 80% = 215.136 KWh**

### 5.4. Carte des typologies

Ci-joint, une carte positionnant les différentes typologies de bâti énumérées dans l'îlot.

### 5.5. Fonctions

A l'exception d'un rez-de-chaussée commercial et d'un autre destiné à une profession libérale, l'ensemble des bâtiments de l'îlot est destiné au logement. Ces maisons du début du 20e siècle, que l'on peut qualifier de type « bourgeoise », étaient principalement destinées à l'habitat individuel. Au fil du temps, la plupart des maisons individuelles se sont divisées en plusieurs unités de logement, essentiellement à cause de l'exode urbain des familles plus nanties.

### 5.6. Conclusion

Malgré un laissé-aller visible de l'entretien du bâti d'origine, celui-ci confère au quartier une grande qualité architecturale, par son homogénéité, ses façades, ses ouvertures régulières,... Ce type de maison et de quartier est très présent à Liège, il fait partie du patrimoine architectural de la ville auquel les habitants y sont très attachés. Il y a 50 ans, les grands projets immobiliers auraient pu avoir raison de tels quartiers mais aujourd'hui on ne peut imaginer leur destruction. Par contre peut-on imaginer une transformation si poussée qu'il faille perdre une partie des qualités énoncées ? En effet, dans le cas d'une isolation par l'extérieur, réponse évidente à la question de l'énergie, l'aspect original des façades, élément majeure de cette architecture, est perdu. Comment faire le poids entre la qualité architecturale et le patrimoine, ... et le gain énergétique ?

## 6. La végétation

26% de la surface du cœur d'îlot est végétalisée (voir figure 18). La végétation est anarchique et peu entretenue, elle se résume à de la pelouse, des arbustes et un arbre à haute tige.



FIGURE 27: Végétation dans l'îlot

## 7. Bilan énergétique de l'existant

### 7.1. Modélisation dans ALCYONE

Il est possible de définir des zones thermiques dans ALCYONE, l'idéal aurait été d'avoir une zone par bâtiment mais le programme n'autorise que la création de 40 zones au maximum. J'ai donc créé des zones par groupes de bâtiments ayant les mêmes typologies et orientations, on obtient 26 zones (voir le plan ci-contre). Le bâti entourant l'îlot a été modélisé, très simplement, de manière à étudier l'impact (masque solaire) de celui-ci sur l'îlot. Le programme ne permettant pas de modéliser les toitures en pente sur des bâtiments d'hauteur différente, deux types de modélisation sont conçues:

- Tout l'îlot recouvert de toitures plates;
- Bâtiments de typologie dont le nombre d'étages est identiques:
  - R+1: Typo1;
  - R+2: Typo 2 + 4 + 6;
  - R+3: Typo 3 + 5.

De cette manière, il sera possible d'évaluer plusieurs cas d'isolation (dans la toiture, sous les combles).

#### Hypothèses pour la modélisation

Un certain nombre d'hypothèses ont été posées lors de la modélisation de l'îlot tout en conservant une précision adéquate au type de projet:

- Simplification des volumes;
- Hauteur d'étage de 3,5 m constante pour tout l'îlot car ALCYONE ne permet pas d'hauteurs différenciées par étage;
- Pas de toiture à 2 versant sur la modélisation complète de l'îlot car le programme ne le permet pas;
- Pas de fenêtre de toit dans les modélisations par étage;
- Chaque baie n'a pas été mesurée, il s'agit d'une approximation faite sur base des photos de façade redressée;
- Épaisseur et matériaux des murs des maisons constants ainsi que pour l'immeuble d'appartements, de conception différente;
- Malgré leur attachement au bâti existant, les annexes n'ont pas été modélisées pour deux raisons :
  - Volumes complexes, manque de moyen pour recueillir les données;
  - Pour retrouver les qualités du bâti d'origine, on pose l'hypothèse que ces annexes, de qualité architecturale médiocre, tant du point de vue thermique qu'esthétique, seront détruites au profit d'un nouvel aménagement des espaces intérieurs, et cela malgré la perte indéniable de surfaces bâties.
- Le parking de l'immeuble n'a pas été modélisé car il n'entre pas dans les espaces chauffés;
- La maison construite en cœur d'îlot n'entre pas non plus dans la modélisation, en effet vu sa construction plus récente on considère que ses caractéristiques environnementales sont satisfaisantes.

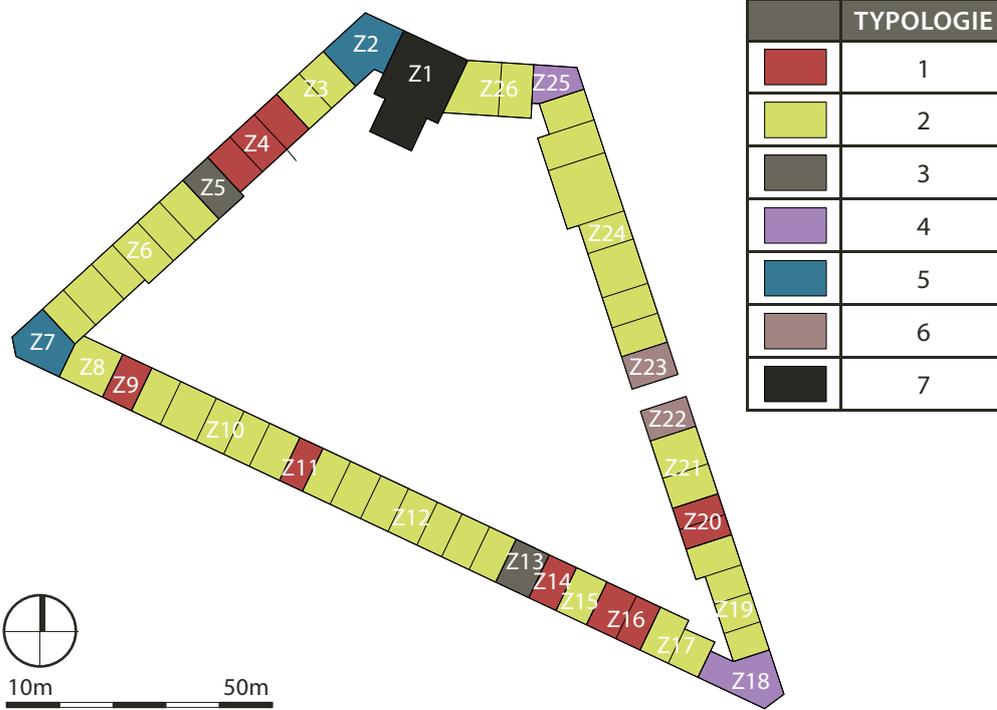


FIGURE 28: Carte des différentes zones thermiques

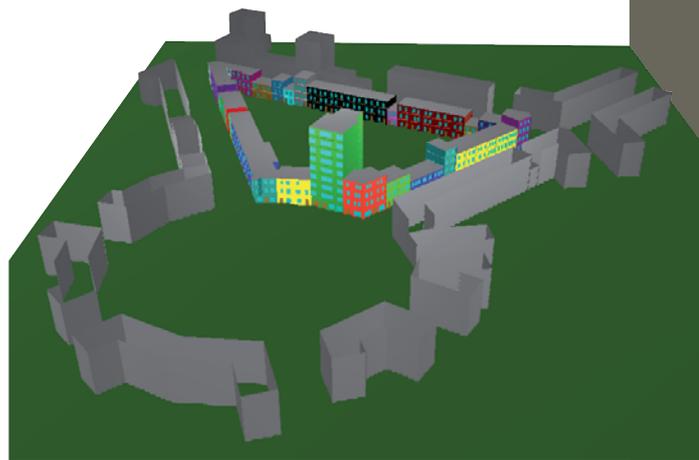
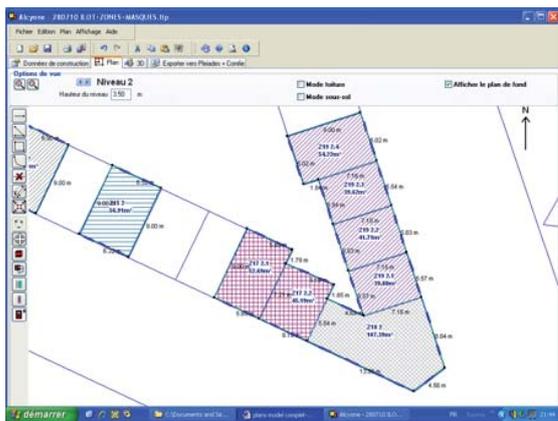


FIGURE 29: Modélisation dans ALCYONE (îlot complet + toits plats + masques solaires + zones thermiques)

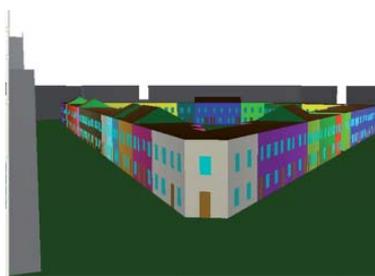


FIGURE 30: Modélisation pour le calcul des R+1



FIGURE 31: Modélisation pour le calcul des R+2

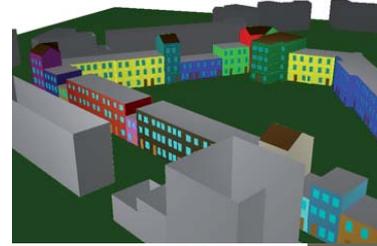


FIGURE 32: Modélisation pour le calcul des R+3

SURFACES M <sup>2</sup>	Au sol	De plancher (hors cave et combles)	De combles (hauteur min 1,5 soit environ 60% de la surface au sol)	Des parois (extérieures brutes)	Des vitrages (+châssis)	Des portes	VOLUME M <sup>3</sup> (hors cave et combles)
<b>Îlot</b>	<b>3574</b>	<b>11985</b>	<b>2174</b>	<b>10290</b>	<b>2096</b>	<b>436,6</b>	<b>43021</b>
<b>Maisons</b>	3340	9880	2174	8910	1809	421	35581
<b>Appartement</b>	234	2105	0	1390	287	15,6	7440

<b>MAISONS</b>			
<b>MUR EXTERIEUR</b>			
Matériaux	ép (mm)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)
Plafonnage	10	0,35	0,03
Brique	330	1,10	0,30
<b>U=</b>	<b>3,04</b>	<b>R=</b>	<b>0,33</b>
<b>FAUX PLAFOND SOUS GRENIER VENTILE</b>			
Plancher	20	0,17	0,12
Solives	180		
couche d'air moyennement ventilée			0,07
Plafonnage	12	0,35	0,03
<b>U=</b>	<b>5,33</b>	<b>R=</b>	<b>0,19</b>
<b>DALLE SUR CAVE</b>			
Carrelage	10	1,20	0,01
Chape	70	1,00	0,07
Voussettes briques	110	1,10	0,10
<b>U=</b>	<b>5,61</b>	<b>R=</b>	<b>0,18</b>

<b>IMMEUBLE D'APPARTEMENTS</b>			
<b>MUR EXTERIEUR</b>			
Plafonnage	10	0,35	0,03
Bloc de béton	140		0,11
Isolant	60	0,04	1,50
couche d'air moyennement ventilée	10		0,07
Briques	90	1,10	0,08
<b>U=</b>	<b>0,59</b>	<b>R=</b>	<b>1,71</b>
<b>TOITURE PLATE</b>			
<b>Étanchéité</b>			
Isolation	60	0,04	1,50
Béton de pente	100	0,90	0,11
Dalle béton	120	1,70	0,07
<b>U=</b>	<b>0,59</b>	<b>R=</b>	<b>1,68</b>
<b>DALLE SUR CAVE</b>			
Carrelage	10	1,20	0,01
Chape	70	1,00	0,07
Dalle béton	120	1,70	0,07
<b>U=</b>	<b>6,71</b>	<b>R=</b>	<b>0,15</b>

<b>MAISONS</b>		
<b>FENÊTRE</b>		
<b>Vitrage</b>		
Dénomination	Simple vitrage	
Nombre de couche	1	
Intercalaire	non	
Facteur solaire (g)	0,85	
Coeff U vitrage (Ug)	5,7	W/(m².K)
<b>Cadre</b>		
Dénomination	Bois peu performant	
Coeff U opaque (Uf)	2,4	W/(m².K)
<b>Châssis complet</b>		
% de vitrage	70	%
<b>Coeff U moyen (Uw)</b>	<b>5,04</b>	<b>W/(m².K)</b>
<b>PORTE</b>		
<b>Châssis complet</b>		
Dénomination	Bois pleine peu performante	
<b>Coeff U moyen (Uw)</b>	<b>5</b>	<b>W/(m².K)</b>

<b>IMMEUBLE D'APPARTEMENTS</b>		
<b>FENÊTRE</b>		
<b>Vitrage</b>		
Dénomination	Double vitrage plus ancien	
Nombre de couche	2	
Intercalaire	12 mm	Normal
Facteur solaire (g)	0,63	
Coeff U vitrage (Ug)	1,9	W/(m².K)
<b>Cadre</b>		
Dénomination	PVC 3 chambres	
Coeff U opaque (Uf)	2	W/(m².K)
<b>Châssis complet</b>		
% de vitrage	70	%
<b>Coeff U moyen (Uw)</b>	<b>2,26</b>	<b>W/(m².K)</b>
<b>PORTE</b>		
<b>Vitrage</b>		
Dénomination	Simple vitrage	
Nombre de couche	1	
Intercalaire	non	
Facteur solaire (g)	0,85	
Coeff U vitrage (Ug)	5,7	W/(m².K)
<b>Cadre</b>		
Dénomination	Châssis métallique peu performant	
Coeff U opaque (Uf)	7	W/(m².K)
<b>Châssis complet</b>		
% de vitrage	70	%
<b>Coeff U moyen (Uw)</b>	<b>6,09</b>	<b>W/(m².K)</b>



## 7.2. Modélisation énergétique dans PLEIADE+COMFIE

Une fois l'îlot et son environnement modélisé, une première simulation pour étudier «l'état énergétique» actuel de l'îlot peut être réalisée. Mais avant de discuter des résultats obtenus, rappelons que ceux-ci sont à prendre avec du recul vu le nombre d'hypothèses émises. En effet, il y a sûrement plusieurs bâtiments qui ont bénéficiés de diverses améliorations au cours du temps, mais nous n'en tiendrons pas compte (sauf pour l'immeuble d'appartement). Je nomme «modèle de base», le modèle de l'îlot actuel dont les compositions de paroi supposées sont décrites dans les tableaux ci-contre. Les résultats de la simulation du modèle de base servent essentiellement de références pour les résultats finaux des modèles modifiés de l'îlot (après intervention).

### Hypothèses pour la simulation thermique:

- Les tableaux ci-contre reprennent les caractéristiques supposées des parois des bâtiments de l'îlot, les R sont calculés sans prendre en compte les R<sub>ext</sub> et R<sub>int</sub> car le programme les prend automatiquement en compte lors du calcul;
- Les scénarios:

	Nuit	7h30 à 21h30
Consigne de température	15°C	19°C

	Nuit	7h30 à 21h30	WE
Pourcentage d'occupation	100%	25%	100%

	Maisons	Immeuble
Ventilation	1,3 vol/h (24h/24) Pour vieille maison peu étanche à l'air	0,6 vol/h (24h/24) Débit standard

### Traitement des résultats:

Les résultats sont donnés dans des tableaux, la cellule du coin supérieur gauche indique à quel configuration d'îlot, de typologie de bâti,... les valeurs se rapportent. La moyenne de surchauffe max et le taux d'inconfort sont indiquée uniquement pour les zones thermiques où ces valeurs atteignent les extrêmes (max et min) (définition des différents indices p28-29). Lorsque cela est nécessaire, des graphiques sont réalisés.

Un diagramme des flux d'énergie (ou de Sankey), représentant par des flèches de largeurs correspondant à leur importance, les flux d'énergie traversant une frontière donnée, résume très bien l'ensemble des résultats sur l'îlot.

### 7.3. Résultats de la simulation énergétique

ÎLOT - BASE - avec masques solaires	Valeur	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	290	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	3479744	kWh
Dépense	3979810	kWh
Apports solaires bruts	362219	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z12)	35,08	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	1,24	%
Moyenne de surchauffe max (min: Z1)	0	1/10 °C
Taux d'inconfort max (min: Z1)	0	%

Le besoin de chauffage moyen est nettement supérieur à la moyenne wallonne actuelle (+- 150 kWh/m<sup>2</sup>.an\*\*\*référence!!). Le taux d'inconfort est minime, il y a bien une légère surchauffe dans les bâtiments par moment mais peu significative. L'immeuble d'appartement n'est jamais en surchauffe, cela s'explique notamment par la présence de double vitrage et par l'orientation Nord-Sud du bâtiment.

ÎLOT - BASE - sans masques solaires	Valeur	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	286	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	3423120	kWh
Dépense	3968411	kWh
Apports solaires bruts	410939	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z12)	37,05	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	1,48	%
Moyenne de surchauffe max (min: Z1)	0	1/10 °C
Taux d'inconfort max (min: Z1)	0	%

Logiquement, sans prendre en compte les masques solaires, le besoin de chauffage est moindre étant donné qu'il y a un gain supplémentaire d'apports solaires. Mais la différence est faible (-1,63% en terme de besoin de chauffage, 100% étant la consommation pour l'îlot de base avec les masques) car les bâtiments ne sont pas conçus pour profiter d'un quelconque gain solaire, le pourcentage d'ouverture est semblable quelque soit l'orientation des façades et est relativement faible. Il n'est donc pas nécessaire de modéliser systématiquement les bâtiments environnants pour l'étude d'un îlot de ce type, sauf si de larges ouvertures sont prévues dans le projet. Vu que les masques sont modélisés pour cet îlot, je les prends en compte pour les calculs qui suivent.

ÎLOT - COMPARAISON - avec/sans masques	Besoin de chauff / an	Apports solaires
BASE - avec masques solaires	3479744	362219
BASE - sans masques solaire	3423120	410939
Différence	<b>-56624</b>	<b>48720</b>
Gains (%)	<b>-1,63 %</b>	<b>+13,45 %</b>

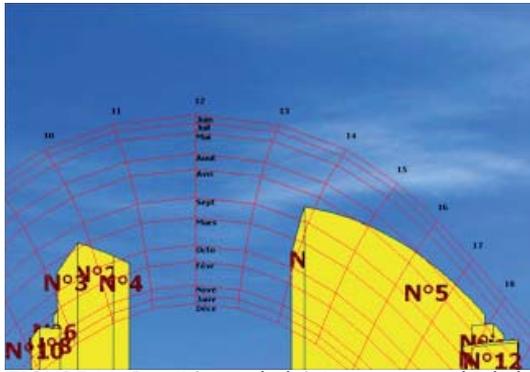


FIGURE 33: Paroi à rue du bâtiment centrale de la zone 12 en prenant compte les masques solaires

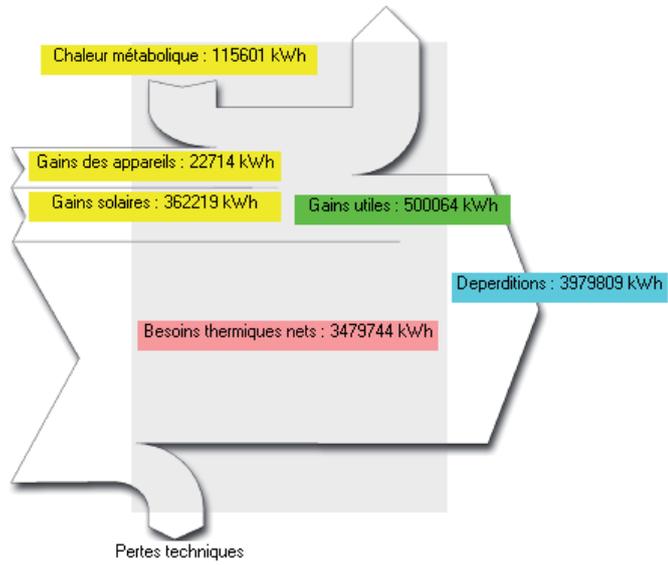


FIGURE 34: Diagramme de Sankey - ILOT - BASE - avec masques

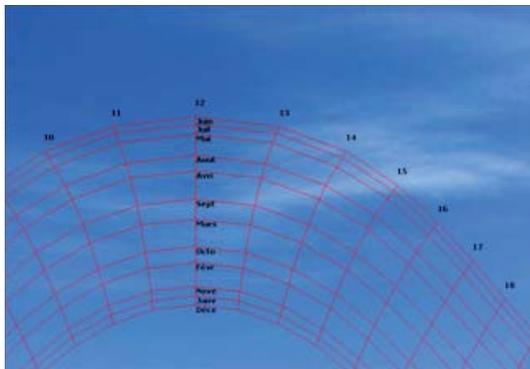


FIGURE 35: Paroi à rue du bâtiment centrale de la zone 12 sans prendre compte les masques solaires

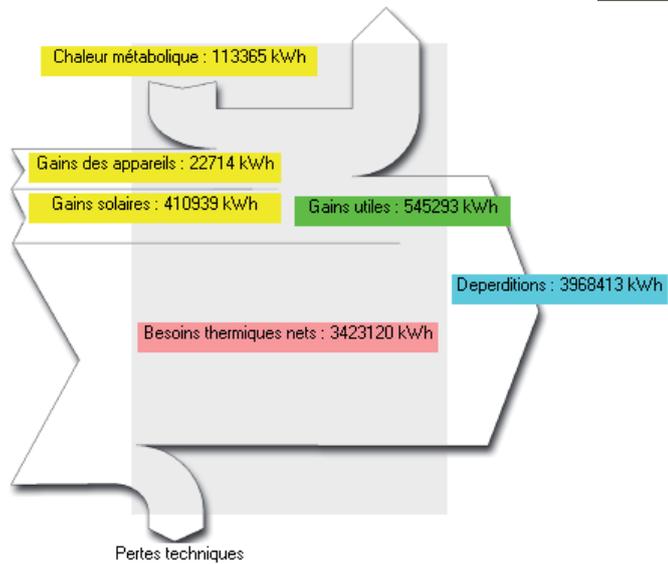


FIGURE 36: Diagramme de Sankey - ILOT - BASE - sans masque

BASE - avec masques solaires	Besoin de chauff kWh/an	Besoin de chauff kWh/m <sup>2</sup> .an
MAISONS	3249605	329
IMMEUBLE	230139	109
ÎLOT	<b>3479744</b>	<b>290</b>

FIGURE 37: Apport solaire selon les zones thermiques (orientation façades rue+typologie) en kWh/m<sup>2</sup>

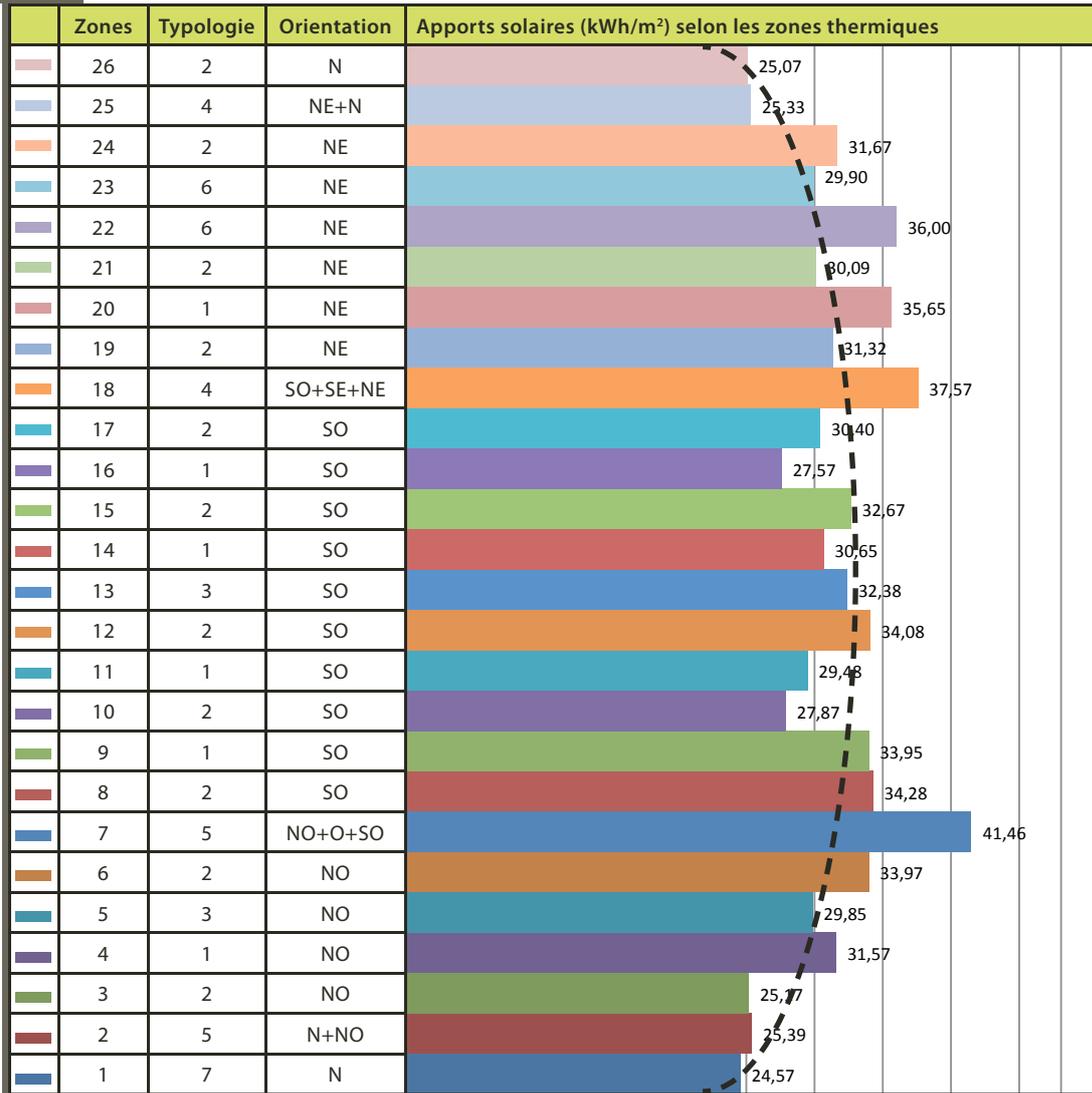
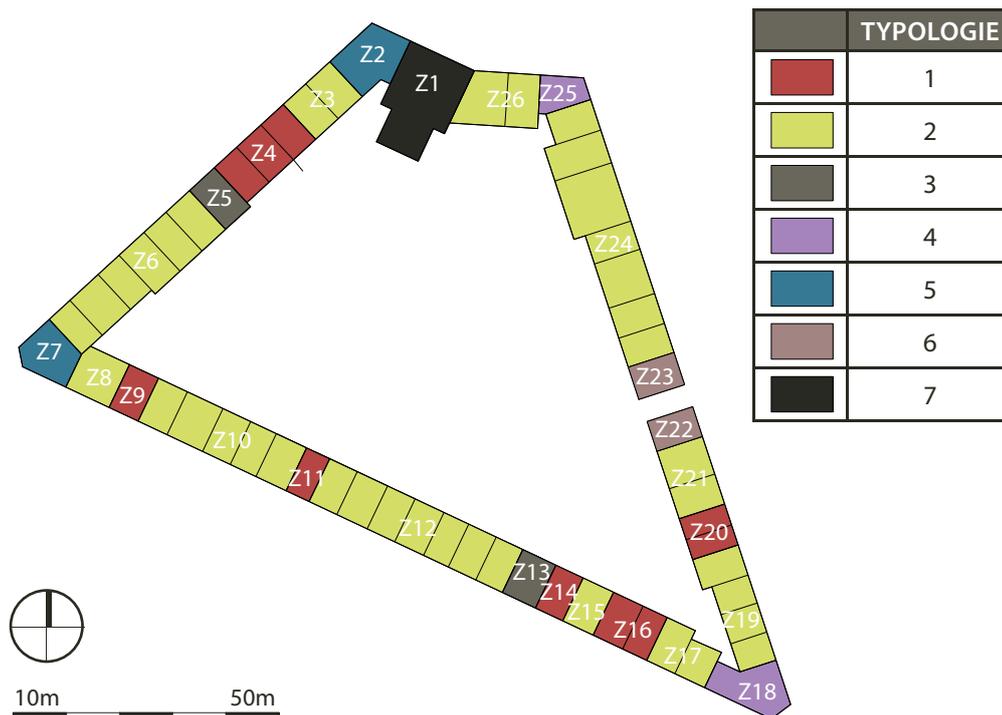


FIGURE 38: Carte des différentes zones





Les résultats sont cohérents, et notamment:

- L'immeuble d'appartement est le moins gourmand en énergie grâce à:
  - Sa compacité joue un rôle important en limitant les surfaces de déperdition;
  - Son isolation.
- Les maisons semi-mitoyennes sont les plus gourmandes en énergie de chauffage vu leur surfaces de déperdition plus élevées;

Il en ressort 3 grandes catégories de résultats:

ÎLOT - BASE	BESOIN CHAUFFAGE (ordre de grandeur en kWh/m <sup>2</sup> .an)	TYPOLOGIE		NOMBRE DE BÂTIMENTS
I	365	1	R+1 mitoyen	10
	310 à 355	2	R+2 mitoyen	39
	320	3	R+3 mitoyen	2
	340	4	R+2 mitoyen en coin	2
	300	5	R+3 mitoyen en coin	2
II	390	6	R+2 semi-mitoyen	2
III	110	7	R+8 immeuble	1

Ces résultats pour les maisons concordent aux moyennes avancées par diverses études concernant les bâtiments en région wallonne:

- Avant 1975: 300 à 400 kWh/m<sup>2</sup>.an;
- Avant 1985: 200 kWh/m<sup>2</sup>.an.

Pour l'immeuble d'appartement la consommation calculée est favorable, ceci est du à l'hypothèse que tout les châssis du bâtiment sont composé de double vitrage et que les parois sont isolée (5 cm d'isolant). Cependant, la valeur calculée sur la base de la consommation en mazout<sup>1</sup> est du même ordre de grandeur que les résultats obtenus par le PLEIADES+COMFIE:

- 215.136 kWh calculé sur base de la consommation en mazout relevée;
- 230139 kWh calculé par PLEIADE.

La variation des valeurs pour les zones de typologie 2 est due au nombre différent de bâtiment par zone et à la surface de pignon en contact avec l'extérieur (dans le cas où un R+2 est à côté d'un R+1). Les bâtiments de typologie R+1 sont plus gourmands en énergie car ils présentent plus de surfaces de déperdition par rapport à la surface de plancher.

#### **Apports solaires selon l'orientation des bâtiments**

Le graphique laisse deviner une forme générale de courbe dont les extrémités représentent les bâtiments situés au nord de l'îlot, qui présentent plus de surfaces vitrées dans cette direction, et donc profitent moins des apports solaires. Les deux pics du graphique représentent logiquement les bâtiments en coin dans le bas de l'îlot (Z7 et Z18), fermés au nord et ouverts sur les autres côtés, le soleil pénètre donc dans l'habitation beaucoup plus longtemps sur une journée. Malgré la tendance de courbe dans

1 Voir calcul effectué page 63

le graphique, il y a tout de même d'importantes variations selon la taille des baies, l'orientation et les masques solaires.

#### 7.4. Analyse solaire

L'analyse se porte sur des points situés sur chaque versant de toiture de plusieurs bâtiments de l'îlot (indiqués par leur numéro dans chaque rue, voir plan figure 39), ainsi que sur le toit plat et les pignons de l'immeuble. Chaque point est accompagné d'un vecteur dirigé perpendiculairement à la surface associée (voir figure 40). Le but est de déterminer les zones qui reçoivent le plus d'énergie pour l'installation de capteurs solaires, qui varie avec l'orientation, l'inclinaison des toitures et les masques solaires.

TOWSCOPE calcul pour les dates choisies (dans ce cas-ci: le 21 des mois de mars, juin, septembre et décembre), l'énergie issue du rayonnement solaire direct et diffus aux différents point, pour chaque heure de la journée, en  $W/m^2$ . Une moyenne annuelle est calculée sur la base des ces valeurs. Les points verts sur plan indiquent les zones les plus favorables (énergie solaire plus grande).

Les versants sud des toitures des bâtiments de la rue de l'enseignement sont les mieux situés, cependant la différence est faible par rapport aux autres versant idéalement situés.

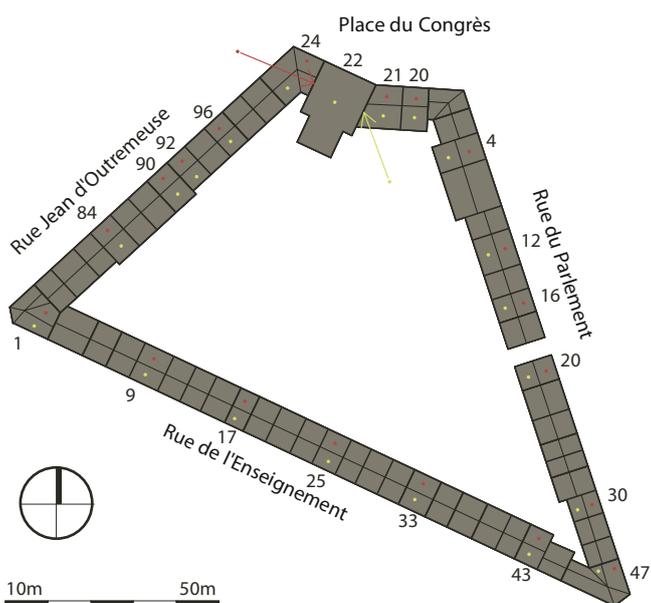


FIGURE 39: Plan des points étudiés dans TOWSCOPE

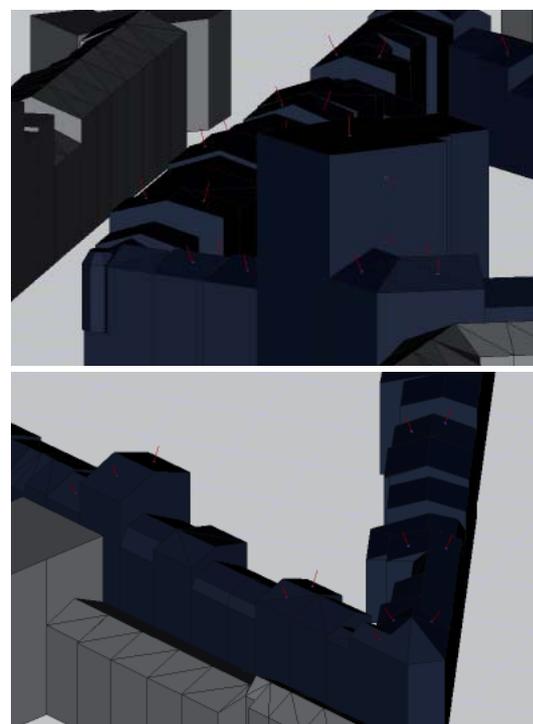


FIGURE 40: Représentation en 3D des points étudiés dans TOWSCOPE



FIGURE 41: valeurs pour les toitures côté place du Congrès

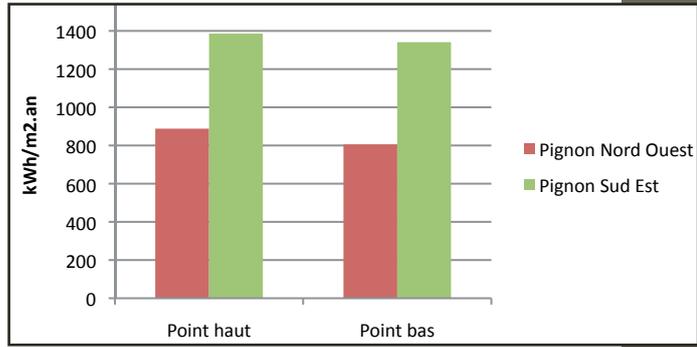


FIGURE 42: valeurs pour les pignons de l'immeuble

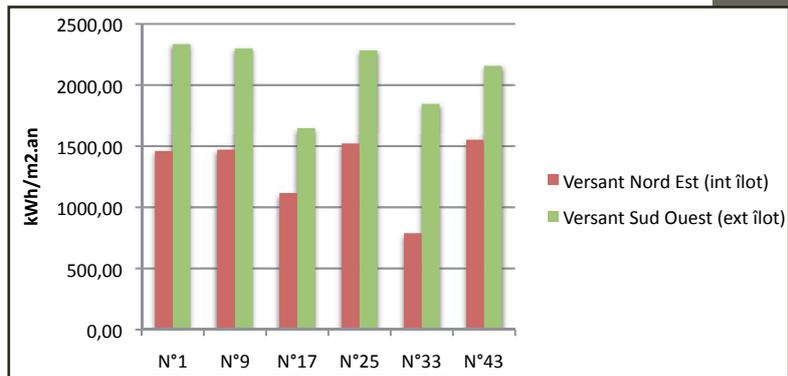


FIGURE 43: valeurs pour les toitures côté rue de l'Enseignement

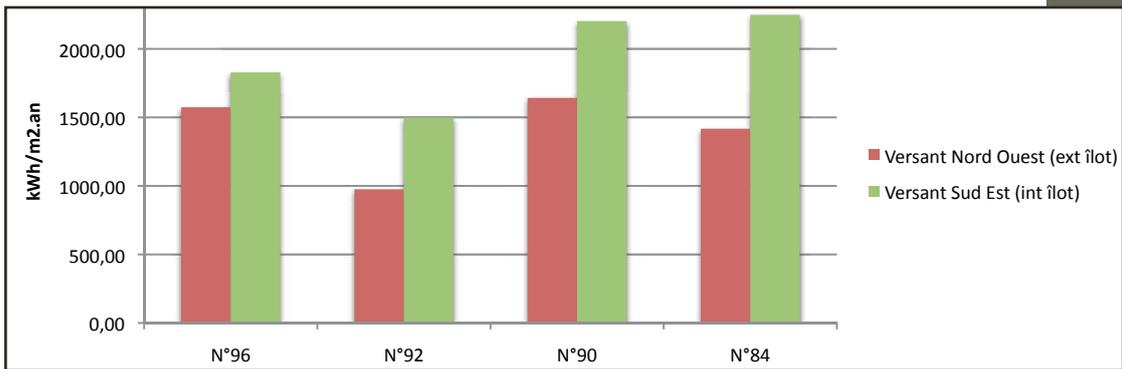


FIGURE 44: valeurs pour les toitures rue Jean d'Outremeuse

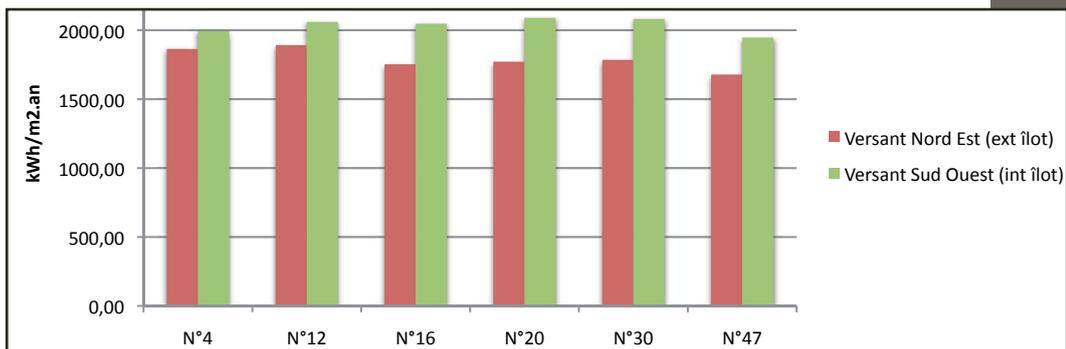


FIGURE 45: valeurs pour les toitures côté rue du Parlement

## Moyens d'action

L'analyse de l'îlot a permis de mettre en lumière un certain nombre de problèmes d'importance variable. J'isole ici les différents types d'actions possibles et adaptées aux problématiques soulevées. La notion de priorité et de degré d'efficacité est à prendre en compte.

### 1. Énergie

Les principes de base et leur priorité en matière d'énergie de chauffage sont les suivants :

Principes/niveau de priorité	***	**	*
Isolation de la toiture			
Isolation des murs			
Isolation de la dalle			
Nouveaux châssis			
Nouvelle chaudière			
Système de ventilation			

C'est seulement après la mise en place d'une combinaison de ces actions prioritaires (pas nécessairement toutes) que l'utilisation de moyens technologiques plus poussés peut être envisagée. En effet, mettre en place un chauffage solaire sans avoir isolé son bâtiment est insensé, l'économie d'énergie sera dérisoire par rapport aux pertes de chaleur par les parois, d'autant plus que le prix d'une telle installation est important par rapport à celui d'une isolation.

#### 1.1. Isolation des parois

Mieux on isole, plus l'énergie de chauffage sera réduite. Lors de cette opération, il est aussi important de bien rendre le bâtiment étanche à l'air, car chaque fuite est synonyme de fuite de chaleur. D'autant plus que les courants d'air créent une sensation désagréable qui pousse l'utilisateur à augmenter le chauffage. L'utilisation d'un frein de vapeur adapté est indispensable.

##### Toiture (maisons)

- Isolation du toit sans remplacement de la couverture (+ surface utile);
- Isolation du toit avec remplacement de la couverture (+ surface utile);
- Isolation du plancher sous les combles.

##### Toiture (immeuble)

- Isolation de la toiture plate par l'extérieur;
- Si la structure du toit le permet, mise en place d'une toiture verte.

##### Mur (maisons)

- Isolation par l'extérieur des deux façades;
- Isolation par l'intérieur des deux façades;
- Isolation par l'intérieur de la façade à rue et par l'extérieur de la façade en cœur d'îlot;
- Les murs de refend non mitoyens sont isolés par l'extérieur (ainsi que les parties de pignon en contact avec l'extérieur).



### **Mur (immeuble)**

- Isolation par l'extérieur.

### **Dalle sur cave (maisons et immeuble)**

- Isolation par dessous la dalle.

### **Ponts thermiques (maisons)**

L'isolation par l'intérieur demande certaines interventions particulières pour éviter les ponts thermiques:

- Isolation des murs de refend sur 1m à partir de la façade (ou jusqu'à un conduit de cheminée situé sur le mur pignon, ce qui est souvent le cas dans les anciennes habitations);
- Coupure de 5cm de plancher au niveau de la jonction avec la façade (si le système porteur du plancher le permet) pour obtenir une continuité de l'isolation.<sup>1</sup>

## **1.2. Remplacement des châssis et vitrages**

Les diverses solutions sont:

- Double fenestration pour le bâti ancien: cela consiste à placer un nouveau châssis du côté intérieur du bâtiment tout en laissant le châssis existant en place. Cette solution ne modifie en rien l'aspect des façades et ne demande pas de démontage, elle est imaginable mais ne sera toutefois pas retenue pour les raisons suivantes:
  - Peu pratique;
  - Risque de condensation sur le vitrage existant;
  - Châssis existants n'ajoutent pas de grande valeur aux façades et sont souvent vétustes;
- Remplacement des châssis et des vitrages --> le choix se porte sur des éléments dont le coefficient de transmission thermique U ne dépasse pas un maximum fixé:

Composant	U <sub>max</sub> posé	Spécificité
Vitrage	U <sub>g</sub> max=1,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	- Standard actuel d'utilisation - Législation: U <sub>g</sub> max=1,6 W/(m <sup>2</sup> .K) - Intercalaire normal ou amélioré
Châssis	U <sub>f</sub> max=1,8 W/(m <sup>2</sup> .K)	- Bois performant pour les maisons - PVC performant pour l'immeuble (pas d'entretien)
Châssis+vitrage	U <sub>w</sub> max=1,64 W/(m <sup>2</sup> .K)	- Valeur donnée par le tableau D1 de l'annexe de la NBN B62-002:2007 (voir p 152)

1 Travail réalisé lors de la rénovation d'une maison de maître à Liège, voir annexes page 160

Composant	U <sub>max</sub> posé	Spécificité
Vitrage	U <sub>g</sub> max=1,1 W/(m <sup>2</sup> .K)	- Standard actuel d'utilisation - Législation: U <sub>g</sub> max=1,6 W/(m <sup>2</sup> .K) - Intercalaire normal ou amélioré
Porte d'entrée	U <sub>f</sub> max= 1,8 W/(m <sup>2</sup> .K)	- Bois performant pour les maisons - PVC performant pour l'immeuble (pas d'entretien)

Avec une valeur U<sub>w</sub> max=1,64 W/(m<sup>2</sup>.K), l'efficacité de l'ensemble châssis+vitrage est au mieux:

- Triplée par rapport aux châssis existants des maisons (5,04 W/(m<sup>2</sup>.K));
- Améliorée de 30% par rapport aux châssis existants de l'immeuble (2,26 W/(m<sup>2</sup>.K)).

Ces valeurs correspondent à des vitrages et des châssis d'un prix abordable et d'une efficacité énergétique garantissant un gain d'énergie certain.

Lors de cette opération il est aussi important d'assurer une bonne étanchéité à l'air au niveau de la jonction du châssis et du mur, celle-ci évidemment sera réalisée lors doublage intérieur ou extérieur des murs de façade.

### 1.3. Remplacement des anciennes chaudières

Les anciennes chaudières à mazout ou au gaz (avant 1980) consomment nettement plus que les chaudières plus récentes. Deux solutions sont envisageables:

- Remplacer uniquement les anciennes chaudières par des neuves à haut rendement (90% et +) et fonctionnant au gaz naturel dont les avantages sont:
  - Faible consommation;
  - Coût inférieur de l'installation;
  - Pas de stockage du combustible;
  - Peu d'entretien;
  - Encombrement de l'installation minimum.
- Retirer toutes les chaudières et installer un unique système de chauffage pour tout l'îlot ou un système de cogénération.

### 1.4. Installation d'un système de ventilation

Les travaux d'isolation et de remplacement des châssis ont fortement améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment, ce qui empêche un renouvellement d'air qui se faisait jusqu'alors naturellement. Il est dès lors important d'intégrer un système de ventilation pour des raisons de:

- Sécurité: risque d'intoxication au monoxyde de carbone pour les habitants en présence d'appareils de combustion;
- Confort et d'hygiène: mauvaises odeurs, transpiration ...;
- Condensation: risque de condensations qui dégradent le bâtiment, la



condensation apparaît sur les parois les plus froides et la moisissure se développe sur ces zones humides.

Pour maintenir une ambiance respiratoire saine, il faut en moyenne assurer un entrée de 30m<sup>3</sup> d'air frais par heure et par personne et une évacuation de la même quantité d'air vicié.

Une bonne ventilation est assurée par une amenée d'air frais dans les locaux secs (chambre, salon, bureau), une diffusion de cet air par des grilles de transfert intégrée aux portes ou par détalonnage de celles-ci, et une évacuation de l'air par les locaux humides (salle de bain, toilette, cuisine).

**Il existe quatre systèmes de ventilation:**

Amenée/Évacuation	Naturelle	Mécanique
Naturelle	A - Ventilation naturelle	B - Ventilation mécanique simple flux par insufflation
Mécanique	C - Ventilation mécanique simple flux par extraction	D - Ventilation mécanique double flux

Les systèmes B,C et D fonctionnent avec un seul groupe de ventilation. La ventilation mécanique répartie (VMR) est une VMC par extraction qui se réalise grâce à plusieurs extracteurs disposés dans les pièces humides.

En terme d'économie d'énergie, la ventilation double flux est la meilleure solution. Ce système permet de récupérer la chaleur de l'air vicié extrait du bâtiment pour réchauffer l'air neuf venant de l'extérieur. C'est le système le plus coûteux mais le gain de chauffage qui en découle est important grâce à la récupération de 70 % (à 90 % dans les systèmes à haute performance) de l'énergie contenue dans l'air vicié extrait. La mise en oeuvre de ce système dans une rénovation est compliquée puisqu'il n'y a pas de vide technique prévu à la base pour faire passer les gaines de ventilation. On ne peut envisager une ventilation double flux sans retravailler les pièces du bâtiment. Pour une maison moyenne, le coût de l'installation d'un système double flux s'élève à environ 7000€, cependant cette somme ne prend pas en compte tous les travaux d'aménagements qui en découlent. Dans le cas de l'immeuble d'appartements, des gaines techniques existent déjà, ce qui faciliterait l'intégration d'un tel système. Dans un contexte urbain, vu la pollution de l'air et acoustique, l'installation d'une ventilation double flux se justifie aussi car cela évite d'ouvrir les fenêtres et l'air neuf pénétrant dans le bâtiment est filtré.

Par contre si on ne veut pas intervenir sur les espaces intérieurs des maisons, une ventilation mécanique répartie convient beaucoup mieux mais n'apporte aucun gain d'énergie. Les châssis sont donc équipés d'une grille d'entrée d'air.

Si le choix d'une ventilation mécanique double flux s'impose pour tout les bâtiments de l'îlots, 2 solutions sont possible:

Solutions	Avantages	Inconvénients
<b>1 - Un groupe pour tout l'îlot ou un par groupe de bâtiments</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entretien unique</li> <li>- Démarche unificatrice</li> <li>- Gain de place dans les habitations</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertes de charge importantes</li> <li>- Coût supplémentaire pour isoler les conduits principaux</li> <li>- Clapets coupes feu entre chaque habitation</li> <li>- Grande dimension pour les conduits de distribution</li> <li>- Régulation difficile</li> </ul>
<b>2 - Un groupe par habitation + un groupe pour l'immeuble</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Régulation adaptée à chaque mode de vie des utilisateurs plus facile</li> <li>- Moins de perte de charge</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perte de place par habitation</li> </ul>

La solution 2 est retenue lorsqu'un groupe de ventilation est nécessaire.

### 1.5. Sources énergétiques renouvelables

Une énergie renouvelable est une énergie qui se régénère plus vite que ce que l'Homme ne la consomme. Les différents type d'énergies renouvelables utilisées dans le bâtiment sont:

- L'énergie solaire photovoltaïque;
- L'énergie solaire thermique;
- L'énergie éolienne;
- L'énergie hydraulique;
- La biomasse;
- L'énergie géothermique.

Dans le cadre d'une rénovation en milieu urbain certaines techniques ne sont pas envisageables (éoliennes, hydraulique) et d'autres sont plus complexes à intégrer au bâti existant (géothermie, panneaux solaires) mais restent envisageables.

Les solutions retenues pour une rénovation environnementale d'un îlot urbain sont:

- Le chauffage ou chauffage eau solaire: utilise la chaleur issue du rayonnement solaire pour chauffer un liquide caloporteur circulant dans un capteur vitré généralement placé en toiture;
- Les panneaux photovoltaïques: transforme en énergie électrique le rayonnement solaire par le principe de l'effet photoélectrique;



Solutions	Avantages	Inconvénients
<b>Solaire thermique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- L'énergie solaire est illimités</li><li>- Peu couvrir environ 60% des besoins en chaude pour une famille moyenne</li><li>- Peu éventuellement être couplé au système de chauffage</li><li>- Très bon rendement</li><li>- Intégrable à la toiture</li><li>- Technologie simple</li><li>- Bénéficie d'une prime dont le plafond est à 6000€</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Nécessité un réservoir pour stocker l'eau chaude</li><li>- Poids de l'installation sur toiture existante (anciennes charpentes à renforcer)</li><li>- Chauffe beaucoup quand on en a le moins besoin (en été)</li></ul>
<b>Solaire photovoltaïques</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- L'énergie solaire est illimités</li><li>- Pas de problème de stockage si l'on renvoi directement l'électricité produite sur le réseau</li><li>- Montage simple et adaptable</li><li>- Coûts de fonctionnement très faibles</li><li>- Rendement faible (+-20%)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Coût élevé</li><li>- Durée de vie moyenne</li><li>- Technologie complexe</li><li>- Énergie grise importante (à cause de la purification et de la cristallisation du silicium)</li></ul>

Les avantages spécifiques à l'utilisation de panneaux solaires dans le cadre d'une rénovation appliquée à tout un îlot sont:

- Une économie d'échelle certaine (prix avantageux d'achat et de mise en oeuvre);
- Un seul onduleur pour injecter l'électricité produite dans le réseau;
- Un îlot urbain présente toujours des pans de toiture bien orientés;
- Le contraste entre l'aspect technologique «en décalage» et le type de bâti est minimisé étant donné que les toitures sont peu visibles depuis la rue.

L'emploi de ces technologies poussées est certes positif du point de vue énergétique et aussi de l'image «verte» qu'offrirai la démonstration de ces techniques. Mais l'investissement conséquent par rapport à une démarche écologique plus «classique» (isolation des murs) ne se justifie pas forcément.<sup>1</sup>

### 1.6. Comportement

Ce point n'entre pas dans l'étude, mais il faut tout de même souligner que le comportement de l'utilisateur a une importance au point de vue de la consommation. Il faut aussi éviter un effet de rebond: certaines personnes après avoir investi dans leur bâtiment afin de réduire la consommation d'énergie, montent d'un ou deux degrés leur thermostat ou laissent les lampes allumées, il en résulte une économie d'énergie moindre que prévue. Au contraire, il faut accompagner l'investissement par un comportement encore plus responsable.

<sup>1</sup> L'emploi de technologies poussées chers n'est pas bien reçu par tous dans l'opération de rénovation d'un îlot du quartier de Vesterbro, Danemark, 170

## 2. Gestion de l'eau de pluie

Voici les principes de gestion de l'eau de pluie applicable à l'îlot:

Principes	Moyen	Concrètement
Rendre l'eau de pluie à son cycle naturel le plus rapidement possible	Limitation des surfaces imperméables	- Chemin avec revêtement perméable - Pelouse - Plantation
Économiser l'eau potable	Récolter, stocker, et utiliser l'eau de pluie dans l'habitation	- Citernes d'eau de pluie - Réseau séparé de l'eau potable

## 3. Les volumes annexes

Solutions envisagées	Avantages	Inconvénients
<b>Destruction des annexes à l'exception de:</b> - Maison existante - Garage - Atelier désaffecté	- Grand espace disponible en coeur d'îlot - Réhabilitation de l'atelier pour une fonction à usage commun - Mise en évidence des qualités architecturales des maisons - Beaucoup plus de lumière dans le corps de l'habitation	- Perte de place conséquente dans les bâtiments
<b>Destruction puis reconstruction de nouvelles annexes sur un seul niveau</b>	- Moins de perte de place dans les habitations - Uniformisation du coeur de l'îlot par une architecture cohérente des nouvelles annexes - Terrasse pour le second niveau des maisons	- Prix beaucoup plus élevé - Rénovation lourde - Perte d'un peu d'espace au coeur de l'îlot
<b>Rafraîchissement (destruction des annexes les plus délabrées) et isolation des annexes par l'extérieur</b>	- On conserve l'entièreté des habitations - Possibilité de n'agir que sur l'enveloppe (rénovation légère) - Uniformisation des annexes par un ou plusieurs styles de bardages cohérents	- Le coeur de l'îlot sera toujours désorganisé - Toujours moins de lumière dans le corps des habitations - Moins de surfaces pour développer des aménagements semi-publics intéressants

Dans le cas de cet îlot, j'envisage les deux premières solutions vu les hypothèses choisies. Un exemple de rénovation d'une ancienne extension de maison en coeur d'îlot est présenté en annexe.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Voir annexes, page 169



#### **4. Aménagement du coeur d'îlot**

---

Deux axes de réflexion sont retenus dans un premier temps:

- Conserver les jardins selon les limites existantes, éventuellement mettre au point une charte concernant l'aménagement et l'entretien de ces espaces de manière à créer un coeur d'îlot plus cohérent et convivial;
- Unifier les jardins pour en faire un espace semi-public.

Pour l'îlot choisi, la seconde solution est envisagée. Les avantages principaux du statut semi-public sont:

- Les habitants dispose d'un parc où ils se sentent chez «eux», ce qui engendre un respect plus grand de l'espace;
- Le sentiment de sécurité est plus grand que dans un parc public, notamment par rapport au x enfants;
- Le vandalisme est limité;
- Le contact social entres habitants est accentué;
- Les riverains peuvent se charger de la gestion du parc.

L'opération consiste à développer un tout nouvel espace au coeur d'un ensemble bâti ancien, les principes à respecter sont les suivants:

- Respect du contexte existant dans lequel s'inscrit se nouvel espace;
- Création de connexions de manière à rassembler, car l'espace centrale devient un lieu de cohabitation où des personnes différentes se côtoient;
- Créer un espace cohérent, avec un sens.<sup>1</sup>

Il faut intégrer à ce nouvel espace:

##### **Équipements collectifs:**

- Zones aménagées pour les enfants et les parents;
- Zones de rencontre (bancs publics ...);
- Abris pour vélos;
- Conteneur de tri enterré (à intégrer dans une politique urbaine de tri);
- Salle commune (pour réunion, fête,...) dans l'ancien atelier par exemple;
- Potager urbain;
- Accès à l'eau de pluie pour tous (nettoyage, arrosage ...).

##### **Espaces verts:**

Les espaces verts améliorent le cadre de vie des habitants. Du point de vue quantitatif, il faut au minimum 10 m<sup>2</sup> d'espace vert par habitant. L'introduction de végétation en milieu urbain permet de:

- Structurer et améliorer l'esthétique l'espace public;
- Préserver ou enrichir la biodiversité locale;
- Laisser pénétrer l'eau de pluie dans le sol;
- Renforcer la sociabilité ( par exemple un potager urbain).

---

1 REITER S. - Cours d'espace bâti

Type de matériaux	Position du matériaux	Matériaux retenus	Spécificité	Énergie grise GJ/t
Isolant	Toiture, plancher des combles	Flocons de cellulose	- Soufflé - En matelas - Facile à mettre en oeuvre	4,2
	Mur côté extérieur	Fibre de bois		
	Mur côté intérieur	Flocon de cellulose	- En panneau - Facile à mettre en oeuvre	4,2
Sous-toiture, étanchéité	Toiture, mur	Panneau de fibre de bois	- Facile à mettre en oeuvre - Durable si protégé	
Structure légère	Mur , toiture	Bois de structure massif	- Provenance locale ou européenne - Durable si bien protégé - Pas d'entretien	0,5 - 2
		Mélèze pour les maison	- Facile à mettre en oeuvre - Besoin d'entretien - Provenance local ou européenne	2
Bardage	Extérieur	Crépi ou Trespa pour l'immeuble		
		Plaque de fibro-plâtre		
Revêtement intérieur	Intérieur des murs	Bois pour les maisons	- Solution la plus écologique - Demande un entretien	3,1
Châssis	Extérieur/intérieur	Bois métal pour l'immeuble	- Pas d'entretien - Très durable - Cher	
		Tuile en terre cuite	- Provenance locale	2,5
Couverture	Toiture	Ardoise naturelle	- Provenance locale - Très durable, pas d'entretien	



### **Éclairage public:**

Le rôle de l'éclairage public urbain est principalement la sécurité et le confort visuel. Le choix des lampadaires doit se faire selon les critères suivants pour un meilleur respect de l'environnement:

- Bonne canalisation de la lumière;
- Parfaite protection des ampoules;
- Projecteur dirigé vers le sol;
- Bonne efficacité énergétique: les lampes sodium haute pression, les iodures métalliques et les fluo-compactes conviennent (l'efficacité énergétique de la lampe et de son auxiliaire électrique doit être supérieure à 80 lm/W pour les lampes de puissance supérieure à 70 Watts);
- Matériel robuste dont le surcoût sera compensé par un degré de maintenance plus faible;
- Esthétique.

### **Participation des citoyens**

Dans l'optique de développer un espace semi-public destiné aux habitants de l'îlot, il est important qu'ils participent à la création de cet espace mais aussi à son fonctionnement:

- Création d'un comité représenté par des habitants de l'îlot pour la gestion de l'espace semi-public (entretien ...);
- Discussion avec l'auteur de projet pour les choix d'aménagements;
- Association des habitants à la plantation des espaces verts;
- Promotion d'artistes de quartier
- ...

## **5. Choix des matériaux de construction**

Pour le choix des matériaux, il faut concilier plusieurs critères importants:

- Respect de l'environnement (énergie grise): l'aide au choix se fait avec des tableaux comparatifs des matériaux<sup>1</sup>;
- Efficacité énergétique;
- Prix;
- Mise en oeuvre.

Techniquement, pour les opérations sur les parois envisagées, il est tout à fait possible d'utiliser uniquement des matériaux à faible énergie grise, mais un prix plus élevé de ces matériaux oriente parfois le choix vers des matériaux plus «traditionnels». Encore une fois, l'économie d'échelle que procure une action généralisée à un îlot réduit le coût des matériaux.

Pour l'utilisation de ce type de matériaux, surtout en ce qui concerne les isolants, il est recommandé une mise en oeuvre soignée pour conserver leur performance (protection contre l'humidité...).

---

1 Voir annexes, page 153



N'ayant la possibilité de traiter en profondeur tous les aspects techniques que l'on retrouve dans une rénovation (chauffage, ventilation...), je m'intéresse uniquement aux améliorations des différentes parois (les murs, la toiture, la dalle et les châssis).

Chaque fiche technique est réalisée selon les mêmes principes:

- 1 plan de détails de la situation existante;
- 1 plan de détails de la situation améliorée;
- Le coefficient U de la paroi existante;
- Le calcul détaillé du coefficient U de la paroi améliorée;
- La réduction des déperditions en % de la paroi améliorée;
- Les matériaux composant la paroi, en spécifiant les nouveaux;
- Le prix mis en oeuvre, HTVA et par mètre carré de chaque nouvelle couche;
- Toute remarque nécessaire à une meilleure compréhension de l'amélioration de la paroi.

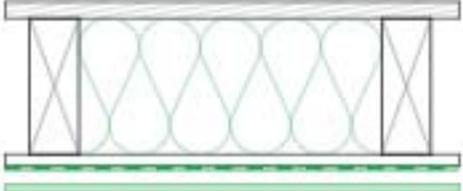
Le but n'étant pas de faire une étude technique de chaque spécificité que l'on retrouve dans le bâti existant, les fiches techniques se rapportent à des cas communs. Il y a bien sûr une multitude de cas existants, et à chacun peuvent s'appliquer plusieurs solutions d'amélioration.

Les détails techniques réalisés présentent des solutions réfléchies selon le type de matériaux retenus dans le cas d'une rénovation environnementale. Les coefficients thermiques des différentes parois ne doivent pas dépasser les  $U_{max}$  imposés par la nouvelle réglementation PEB.<sup>1</sup>

---

1 Voir annexes, page 149

## COMBLES - maisons

COMBLES - maisons						
Existant			Rénové			
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	0,19	5,33	4,76	0,21	96%	59,40 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R ( $m^2.K/W$ )
Plancher	20	0,17	0,12
Solives	180		
couche d'air moyennement ventilée			0,07
Cellulose soufflée	180	0,04	4,50
Plafonnage	12	0,35	0,03
Frein de vapeur			
Lattes 24/48 x/x 60cm			
couche d'air moyennement ventilée			0,07
Plaques de gypse + fibres cellulose	12,5	0,32	0,04

PU htva
14,40 €
13,00 €
7,00 €
25,00 €

## Remarques

La cellulose est soufflée par le haut

Le vide ménagé par les lattes permet d'installer les câbles électriques sans percer le frein de vapeur

Selon les cas, l'isolant peut être placé sur un faux-plafond ou sur le plancher : solutions plus coûteuses



TOITURE : Couverture conservée - maisons						
Existant			Rénové			
<b>Coupes verticales</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>R</b>	<b>U(W/m2.K)</b>	<b>Réduction déperdition</b>	<b>Coût/m2</b>
	0,10	9,59	4,64	0,22	98%	96,80 €

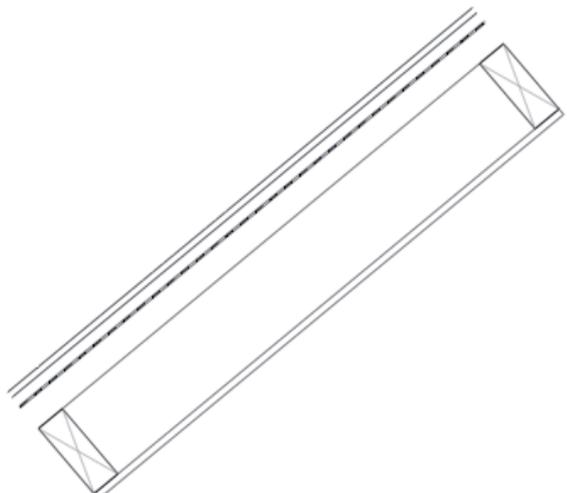
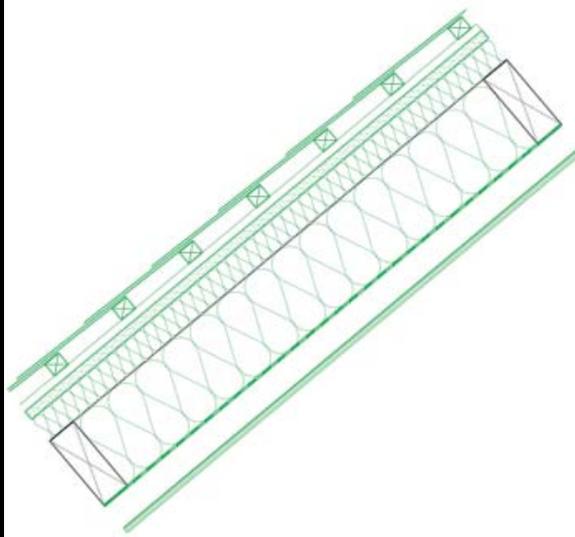
Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Couverture + lattes			
Contre-lattes+sous-toiture éventuelles			
Chevrans			
Pannes			
couche d'air moyennement ventilée			0,07
Plafonnage	12	0,35	0,03
Panneaux de "CELLIT 4D"	22	0,05	0,44
Cellulose soufflée	158	0,04	3,95
Frein de vapeur			
Contre-gîtes 63/48 x/x 40cm			
couche d'air peu ventilée			0,14
Plaques de gypse + fibres cellulose	12,5	0,32	0,04

Démoli

PU htva
10,00 €
18,00 €
12,80 €
13,00 €
18,00 €
25,00 €

**Remarques**  
 L'étanchéité au vent est assurée par des bandes de membrane de sous-toiture collés aux panneaux de "CELLIT 4D" et aux pannes  
 Dans ce cas, les panneaux de "CELLIT 4D" ne peuvent jouer pleinement leur rôle de sous-toiture  
 Le vide ménagé par les contres-gîtes permet d'installer les câbles électriques sans percer le frein de

**TOITURE : Couverture renouvelée - maisons**

Existant		Rénové				
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	0,10	9,59	6,62	0,15	98%	171,80 €

Matériaux	ép (mm)	λ (W/m.K)	R (m².K/W)
Couverture + lattes			
Contre-lattes+sous-toiture éventuelles			
couche d'air moyennement ventilée			0,07
Plafonnage	12	0,35	0,03
Couverture + lattes			
Panneaux de "CELLIT 4D"	22	0,05	0,44
Chevrans			
Panneaux semi-rigides de fibres de	60	0,04	1,50
Pannes			
Cellulose soufflée	180	0,04	4,50
Frein de vapeur			
Contre-gîtes 63/48 x/x 40cm			
couche d'air peu ventilée			0,14
Plaques de gypse + fibres cellulose	12,5	0,32	0,04

Démontée  
Démontée

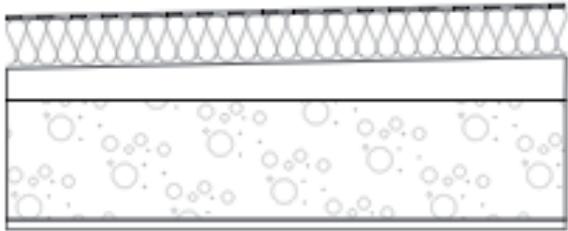
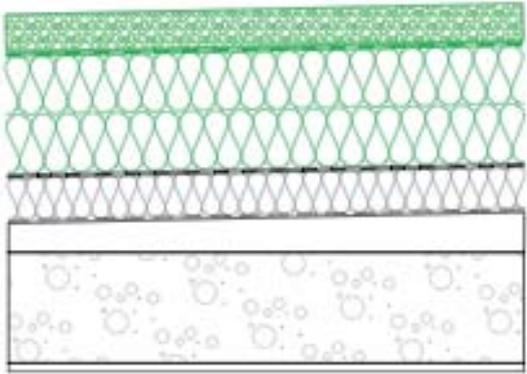
Démoli

PU htva
10,00 €
5,00 €
10,00 €
42,00 €
18,00 €
18,00 €
12,80 €
13,00 €
18,00 €
25,00 €

**Remarques**

Le vide menage par les contres-gîtes permet d'installer les cables electriques sans percer le trein de vapeur



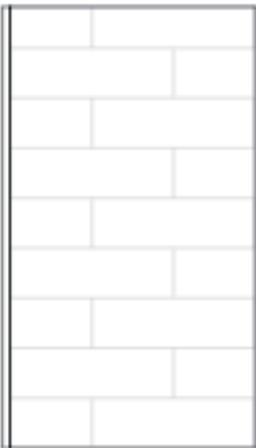
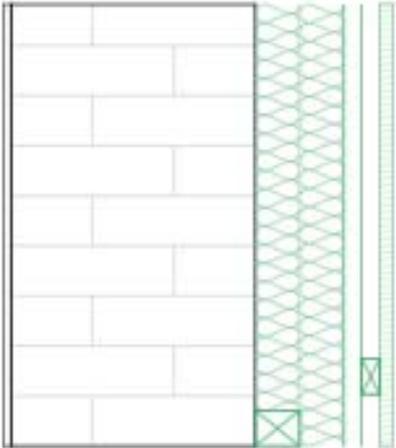
TOIT - Immeuble						
Existant			Rénové			
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	1,68	0,59	5,40	0,19	69%	90,00 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Lestage	50		
Étanchéité EPDM			
Panneaux de fibres de bois résistant à la compression (1)	160	0,043	3,72
Étanchéité			
Isolation	60	0,04	1,50
Béton de pente	100	0,9	0,11
Dalle béton	120	1,7	0,07

PU htva
10,00 €
25,00 €
55,00 €

Remarques
(1) Type : "HOMATHERM HDP-Q11 protect "

## MUR ISOLE PAR L'EXT - maisons

Existant		Rénové				
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction deperdition	Coût/m2
	0,33	3,04	3,23	0,31	90%	109,00 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Plafonnage	10	0,35	0,03
Brique	330	1,10	0,30
Montants 48/60 x/x 62,5cm			
Panneaux semi-rigides de fibres de bo	60	0,04	1,50
Panneaux rigides de fibres de bois (1)	60	0,05	1,20
Lattes 24/48 x/x 62,5cm			
Lattes 24/48 x/x 80cm			
couche d'air moyennement ventilée			0,08
Bardage Mélèze	18	0,15	0,12

PU htva
22,00 €
18,00 €
30,00 €
7,00 €
7,00 €
25,00 €

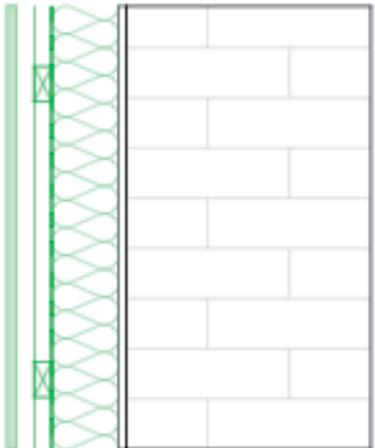
## Remarques

(1) Type "Steico protect", ces panneaux rigides de fibres de bois à rainure et langette remplissent les rôles de pare pluie, coupe vent et isolant

Le type de bardage peut varier selon le contexte

L'isolation s'arrête environ 25cm au dessus du niveau du sol extérieur, le niveau du rez étant le plus souvent situé 80cm au-dessus de celui-ci



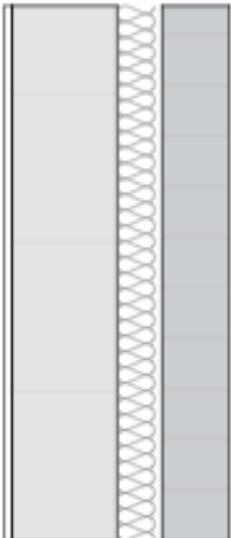
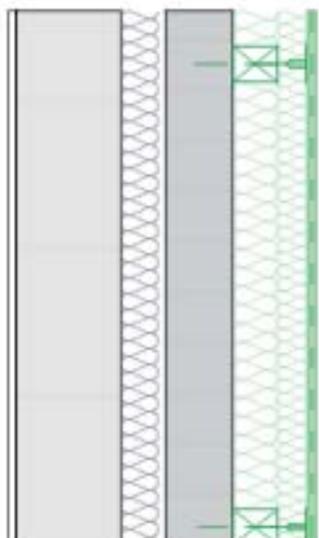
MUR ISOLE PAR L'INT - maisons						
Existant			Rénové			
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	0,33	3,04	2,55	0,39	87%	81,20 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Brique	330	1,10	0,30
Plafonnage	10	0,35	0,03
Montants 38/89 x/x 60cm			
Cellulose soufflée	89	0,04	2,23
Frein de vapeur			
Lattes 24/48 x/x 40cm			
Lattes 24/48 x/x 60cm			
Plaques de gypse + fibres cellulose	12,5	0,32	

PU htva
22,00 €
7,20 €
13,00 €
7,00 €
7,00 €
25,00 €

Remarques
<p>Le prix de la cellulose soufflée est compétitif pour une épaisseur <math>\geq 80</math>mm</p> <p>Le premier lattage est nécessaire pour mettre en œuvre cette technique</p> <p>Le vide ménagé par les 2 couches de lattes permet d'installer les canalisations, les câbles et boîtiers électriques sans percer le frein de vapeur</p> <p>Ce vide technique est négligé dans le calcul de la résistance thermique pour compenser les ponts thermiques au droit des ébrasements des baies extérieures</p>

## MUR - Immeuble

Existant		Rénové				
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	1,71	0,59	4,10	0,24	58%	72,00 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> K/W)
Plafonnage	10	0,35	0,03
Bloc de béton	140		0,11
Isolant	60	0,04	1,50
couche d'air moyennement ventilée	10		0,07
Briques	90	1,10	0,08
Traverses horiz. 48/60 x/x 62,5cm			
Panneaux semi-rigides de fibres de bois	60	0,04	1,50
Panneaux rigides de fibres de bois (1)	40	0,05	0,80
Système d'enduit	12	1	0,01

PU htva
22,00 €
18,00 €
25,00 €
7,00 €

## Remarques

(1) Type "Steico protect", ces panneaux rigides de fibres de bois à rainure et langette remplissent les rôles de pare pluie, coupe vent et isolant



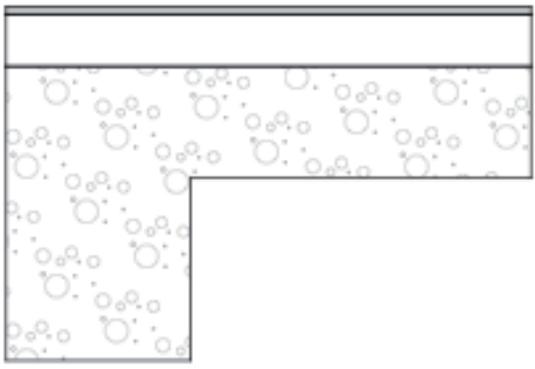
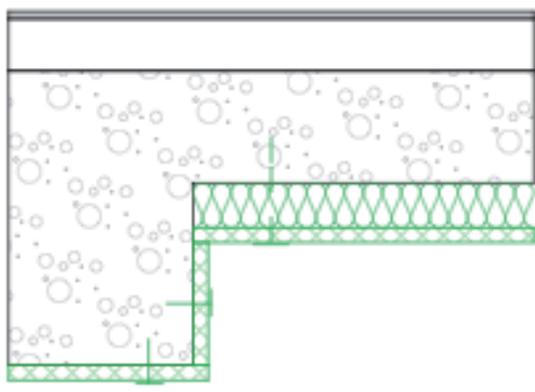
DALLES SUR CAVES - maisons						
Existant			Rénové			
<b>Coupes verticales</b>	<b>R</b>	<b>U</b>	<b>R</b>	<b>U(W/m2.K)</b>	<b>Réduction déperdition</b>	<b>Coût/m2</b>
	<b>0,18</b>	<b>5,61</b>	<b>3,36</b>	<b>0,30</b>	<b>95%</b>	<b>46,00 €</b>

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Carrelage	10	1,20	0,01
Chape	70	1	0,07
Voussettes briques	110	1,1	0,10
Cellulose en vrac	120	0,04	3,00
Contre-gîtes 63/48 x/x ≤ 40cm			
Panneaux type "AGEPAN DWD" (1)	16	0,09	0,18

PU htva
8,00 €
18,00 €
20,00 €

Remarques
(1) Panneaux rigides en fibres de bois Sd=11m

### DALLE SUR CAVES - Immeuble

DALLE SUR CAVES - Immeuble						
Existant			Rénové			
						
Coupes verticales	R	U	R	U(W/m2.K)	Réduction déperdition	Coût/m2
	0,15	6,71	2,43	0,4	94%	43,00 €

Matériaux	ép (mm)	$\lambda$ (W/m.K)	R (m <sup>2</sup> .K/W)
Carrelage	10	1,20	0,01
Chape	70	1	0,07
Dalle béton	120	1,7	0,07
Panneaux rigides de fibres de bois (1)	80	0,04	2,00
Panneaux type "Heraklith" (2)	20	0,07	0,29

PU htva
23,00 €
20,00 €

#### Remarques

(1) Type "Steico Thermisorel" collés

(2) Le panneau est composé de longues fibres de bois liées au ciment, résistant au feu, absorbant acoustique

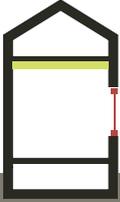
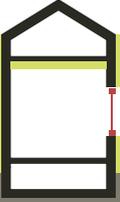
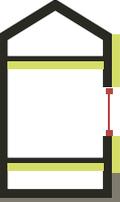
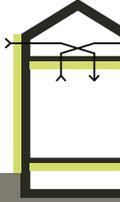
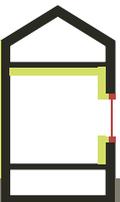
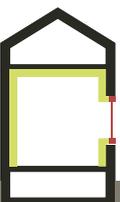
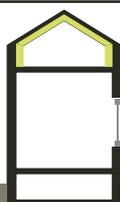
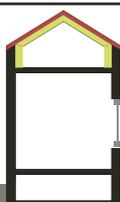


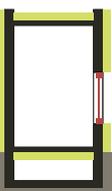
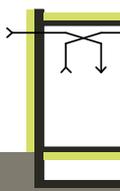
<b>MAISONS - solution "ULTRA"</b>		
<b>VITRAGE</b>		
Dénomination	SGG CLIMAPLUS ULTRA N 4/15 Ar90%/#4	
Nombre de couche	2	
Intercalaire	15 mm	Normal
Facteur solaire (g)	0,63	
Coeff U vitrage (Ug)	1,1	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix	60	€/m <sup>2</sup>
<b>CADRE</b>		
Dénomination	Bois performant	
Coeff U opaque (Uf)	1,8	W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>CHÂSSIS COMPLET</b>		
% de vitrage	70	%
Coeff U moyen (Uw)	1,64	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix		€/m <sup>2</sup>

<b>MAISONS - solution "ONE"</b>		
<b>VITRAGE</b>		
Dénomination	SGG CLIMAPLUS ONE 4/15 Ar90%/#4	
Nombre de couche	2	
Intercalaire	15 mm	Amélioré
Facteur solaire (g)	0,5	
Coeff U vitrage (Ug)	1	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix	95	€/m <sup>2</sup>
<b>CADRE</b>		
Dénomination	Bois très performant	
Coeff U opaque (Uf)	1,2	W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>CHÂSSIS COMPLET</b>		
% de vitrage	70	%
Coeff U moyen (Uw)	1,27	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix		€/m <sup>2</sup>

<b>IMMEUBLE D'APPARTEMENTS - solution ULTRA"</b>		
<b>VITRAGE</b>		
Dénomination	SGG CLIMAPLUS ULTRA N 4/15 Ar90%/#4	
Nombre de couche	2	
Intercalaire	15 mm	Normal
Facteur solaire (g)	0,63	
Coeff U vitrage (Ug)	1,1	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix	60	€/m <sup>2</sup>
<b>CADRE</b>		
Dénomination	Bois performant	
Coeff U opaque (Uf)	1,8	W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>CHÂSSIS COMPLET</b>		
% de vitrage	70	%
Coeff U moyen (Uw)	1,64	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix		€/m <sup>2</sup>

<b>IMMEUBLE D'APPARTEMENTS - solution "ONE"</b>		
<b>VITRAGE</b>		
Dénomination	SGG CLIMAPLUS ONE 4/15 Ar90%/#4	
Nombre de couche	2	
Intercalaire	15 mm	Amélioré
Facteur solaire (g)	0,5	
Coeff U vitrage (Ug)	1	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix	95	€/m <sup>2</sup>
<b>CADRE</b>		
Dénomination	Bois très performant	
Coeff U opaque (Uf)	1,2	W/(m <sup>2</sup> .K)
<b>CHÂSSIS COMPLET</b>		
% de vitrage	70	%
Coeff U moyen (Uw)	1,27	W/(m <sup>2</sup> .K)
Prix		€/m <sup>2</sup>

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
<p>COMPARAISON AVEC LES MAISONS DE BASE</p>  <p><b>329</b> kWh/m<sup>2</sup>an</p>					
					
					
					
					
					

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
<p>COMPARAISON AVEC L'IMMEUBLE DE BASE</p>  <p><b>109</b> kWh/m<sup>2</sup>an</p>					
					

Je compare d'abord les améliorations entre elles, et ensuite, selon les résultats, je développe plusieurs stratégies de rénovation envisageables, que je nomme «variantes». Ces variantes sont des combinaisons d'améliorations dans le bâtiment.

## 1. Comparatif des améliorations

Je réalise des simulations thermiques en appliquant au modèle les améliorations proposées. L'ordre des simulations se fait selon l'ordre de priorité d'action à réaliser dans le bâtiment:

- 1. Isolation du toit;
- 2. Remplacement des châssis;
- 3. Isolation des murs;
- 4. Isolation de la dalle;
- 5. Ventilation double flux.

Pour tester chaque perfectionnement de l'enveloppe, je le combine avec une ou plusieurs autres améliorations des rangs précédents, les tableaux ci-contre et ci-dessous traduisent cette démarche:

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
COMPARAISON AVEC L'ÎLOT DE BASE	ISO C+TP	ULTRA	ISO EE+E'	ISO V+D	DF
			ISO EI+E'	/	/
			ISO II+E'	/	/
		ONE	/	/	/
	ISO TI+TP	/	/	/	/
	ISO TN+TP	/	/	/	/

Signification des abréviations:

- ISO: isolation;
- C: dans le plancher combles des maisons;
- TP: du toit plat de l'immeuble;
- ULTRA: vitrage de type «ULTRA»;
- ONE: vitrage de type «ONE»;
- M EE: des murs des maisons par l'extérieur;
- M EI: des murs des maisons par l'extérieur en coeur d'îlot et par l'intérieur à rue;
- M II: des murs des maisons par l'intérieur;
- E': des murs de l'immeuble par l'extérieur;
- V: des voussettes sur cave des maisons;
- D: de la dalle sur parking de l'immeuble;
- DF: double flux.

Les améliorations en rouge indiquent celles choisies pour être combinées avec les améliorations du niveau suivant, de manière à comparer ces dernières entre elles. J'utilise cette méthode pour deux raisons:

- Éviter de devoir tester toutes les combinaisons possibles, ce qui serait un travail insensé;
- Tester des solutions réalistes: par exemple, dans la plupart des cas, on n'isolera pas les murs sans avoir remplacé les châssis.

## 1.1. Isolation des toitures

INTERVENTIONS			
Maisons	ISO C	ISO TI	ISO TN
Immeuble	ISO TP		

### Rappel

En isolant la toiture on gagne 2174 m<sup>2</sup> de surfaces utiles chauffées dans les maisons, cette valeur est à prendre en compte pour le calcul du besoin de chauffage par mètre carré.

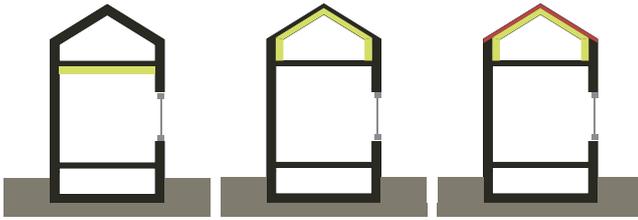
On considère que l'étanchéité à l'air général du bâtiment est améliorée, même si l'intervention d'isolation est ponctuelle (toiture). Le renouvellement d'air pris en compte pour les calculs des solutions améliorées est de 0,6 vol/h, dans la situation de base il est de 1,3 vol/h, il est généré par une ventilation mécanique contrôlée.

Un apport de lumière naturelle dans le cas où les combles sont emménagés est assuré par l'installation de fenêtres de toiture de type «Vélux», ou par les lucarnes existantes rénovées. Néanmoins ces installations ne sont pas prises en compte dans le calcul thermique étant donné qu'à l'échelle de l'îlot les pertes engendrées sont minimales.

Chaque pourcentage est calculé par rapport à la situation de base.

### Conclusion

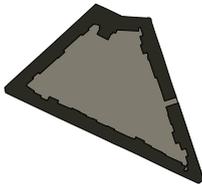
- L'isolation du toit diminue d'environ 30% le besoin de chauffage, ce qui confirme que c'est une action prioritaire (ce gain est cependant accentué par l'hypothèse faite sur la ventilation);
- Le choix de la technique d'isolation du toit (combles, sous couverture existante ou avec renouvellement complet de la toiture) n'est pas conditionné par le gain total en besoin de chauffage (valeurs proches) mais bien par la nécessité de remplacer la couverture et l'opportunité d'utiliser ou non les combles.
- A partir d'une certaine épaisseur, l'efficacité n'augmente plus d'une manière significative (ISO TI: 16cm, ISO TN 24 cm), cependant cette épaisseur est souvent déterminée par la structure de la toiture et par la technique de mise en oeuvre;
- Le gain est forcément moins conséquent pour l'immeuble, car il est déjà isolé et le rapport entre la surface de la toiture et celle de l'enveloppe est beaucoup plus petit que pour les maisons;
- L'effet de l'isolation du toit est moindre sur les bâtiments semi-mitoyens (typologie 6) dont les pignons sont dégagés (280 kWh/m<sup>2</sup>.an).



MAISONS - ISO toiture	ISO C	ISO TI	ISO TN	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	220	192	191	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	2170577	2309582	2298998	kWh
Gain	33,2%	28,9%	29,3%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	264	237	236	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	31	32	32	kWh/m <sup>2</sup>



IMMEUBLE - ISO toiture	ISO TP	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	98	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	207268	kWh
Gain	9,9%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	125	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	25	kWh/m <sup>2</sup>



ÎLOT - ISO toiture	ISO C et TP	ISO TI et TP	ISO TN et TP	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	198	178	177	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	2377845	2516850	2506266	kWh
Déperditions	2871984	3118301	3104108	kWh
Apports solaires bruts	362219	431441	431441	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z7)	26,84	27,08	26,73	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	1,29	1,49	1,48	%

ÎLOT COMPARAISON	Besoin de chauff / an	Besoin de chauff / m <sup>2</sup> .an	Différence avec BASE	Gain %	Gain de surface
BASE	3479744	<b>290</b>	/	/	/
ISO C	2377845	<b>198</b>	-1101899	<b>-31,6%</b>	/
ISO TI	2516850	<b>178</b>	-962894	<b>-27,7% (brut)</b>	2174 m <sup>2</sup> +24%
ISO TN	2506266	<b>177</b>	-973478	<b>-28% (brut)</b>	2174 m <sup>2</sup> +24%

## 1.2. Remplacement des châssis

	INTERVENTIONS	ULTRA	ONE
Maisons	Fenêtres	ULTRA+CM 1,8	ONE+CM 1,2
	Portes	PM 1,8	PM 1,2
Immeuble	Fenêtres	ULTRA+CI 1,8	ONE+CI 1,2
	Portes	PI 1,8	PI 1,2

### Signification des abréviations:

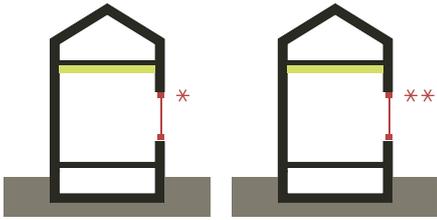
- ULTRA: vitrage de type «ULTRA»
- ONE: vitrage de type «ONE»
- CM 1,8/1,2: châssis maisons, Uf=1,8/1,2
- PM 1,8/1,2: portes maisons, Uf=1,8/1,2
- CI 1,8/1,2: châssis immeuble, Uf=1,8/1,2
- PI 1,8/1,2: portes immeuble, Uf=1,8/1,2

### Rappel

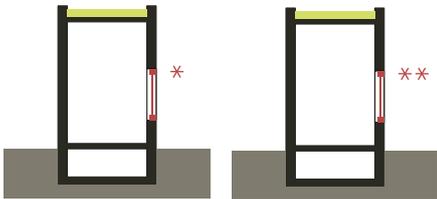
Les calculs sont effectués avec le plancher des combles isolés.

### Conclusion

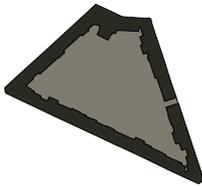
- Un gain de 10% en besoin de chauffage pour les maisons confirme le degré de priorité pour le remplacement des châssis, qui de plus, améliorent le confort acoustique (important en milieu urbain);
- Les choix d'un châssis haute gamme et d'un vitrage encore plus performant par le type d'intercalaire n'est pas justifié vu la faible différence en besoin de chauffage et une diminution des apports solaires;
- Les apports solaires diminuent de 32% par rapport au modèle de base mais lorsqu'il y a surchauffe, celle-ci est diminuée de moitié, néanmoins le facteur surchauffe est négligeable compte tenu des résultats, soulignons que ceux-ci sont des moyennes pour l'ensemble de zones thermiques considérées, dès lors il est important de contrôler la possibilité de surchauffe notamment dans les combles munis de fenêtre de toiture orientés au Sud;
- La différence entre le «ONE» et «l'ULTRA» se marque plus sur l'immeuble étant donné que la proportion de surface vitrée est plus grande, mais l'écart n'est tout de même pas significatif;
- La différence entre maisons mitoyennes et semi-mitoyennes est toujours fort marquée: 250 <-> 180 kWh/m<sup>2</sup> vu que le pignon libre est non isolé.



MAISONS - ISO C + châssis	ULTRA	ONE	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	185	182	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	1823702	1796674	kWh
Gain en +	10,7%	11,5%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	222	217	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaire /m <sup>2</sup> .an	20	16	kWh/m <sup>2</sup>



IMMEUBLE - ISO C + châssis	ULTRA	ONE	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	93	92	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	194934	193081	kWh
Gain en +	5,4%	6,2%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	118	114	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaire /m <sup>2</sup> .an	22	17	kWh/m <sup>2</sup>



ÎLOT - ISO C + châssis	ULTRA	ONE	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	168	166	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	2018636	1989755	kWh
Déperditions	2444676	2386231	kWh
Apports solaires bruts	247050	196516	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z18)	18,25	16,09	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	0,86	0,73	%

ÎLOT COMPARAISON	Besoin de chauff / an	Besoin de chauff / m <sup>2</sup> .an	Différence avec BASE	Gain %	
BASE	3479744	290	/	en +	total
ISO C + ULTRA	2018636	<b>168</b>	-1461108	<b>-10,4 %</b>	-42%
ISO C + ONE	1989755	<b>166</b>	-1489989	<b>-11,2 %</b>	-42,8%

### 1.3. Isolation des murs

INTERVENTIONS			
Maisons	ISO EE	ISO EI	ISO II
Immeuble	ISO E'		

#### Rappel

Les calculs sont effectués avec:

- Le plancher des combles isolés;
- Des châssis de type «ULTRA».

L'isolation par l'extérieur permet de bénéficier de la masse thermique des murs de façade, néanmoins cet avantage n'est pas significatif étant donné une masse thermique présente dans les murs intérieurs.

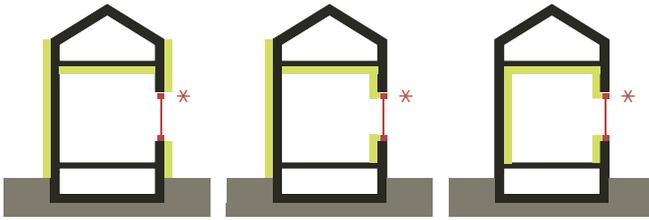
L'isolation par l'intérieur permet de diminuer le volant thermique. Que ce soit en plus ou en moins, l'argument de la masse thermique n'est pas prédominant pour le choix de l'isolation des murs. Elle génère des coûts collatéraux relativement importants:

- Réalisation des coupures thermiques au droit des murs de refend et des planchers;
- Déplacement des radiateurs;
- Nouvelles tablettes de fenêtre;
- ...

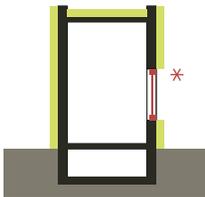
La pose d'un frein de vapeur est obligatoire dans le cas d'une isolation par l'intérieur pour éviter tout problème de condensation interne.

#### Conclusion

- L'isolation des parois permet une nette diminution du besoin de chauffage: +-20% pour les maisons et de ; +-10% pour l'immeuble;
- Le gain est sensiblement différent selon les cas d'isolation (EE, EI et II), cela est dû aux épaisseurs d'isolant sensiblement différents (isolation par l'intérieur pour un gain de place);
- Les différentes techniques d'isolation (par l'extérieur, par l'intérieur ou mixte) fournissent des résultats similaires (+-20% de gain d'énergie de chauffage) ce qui ne permet donc pas, à ce stade de l'étude, d'en retenir une;
- Les critères à prendre en compte sont différents:
  - Prix;
  - Conservation des façades;
  - Facilité de mise en oeuvre;
  - Perte de place à l'intérieur
  - ...
- Une isolation mixte (EI) permet de gagner de la place à l'intérieur et de conserver l'aspect des façades à rue;
- Après cette étape, la différence entre les maisons mitoyennes et semi mitoyennes n'est plus que de 15 kWh/m<sup>2</sup>.an.



MAISONS - ISO C + ULTRA + ISO murs	ISO EE	ISO EI	ISO II	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	116	113	119	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	1146730	1117934	1179414	kWh
Gain en +	20,8%	21,7%	19,8%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	142	142	146	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	20	25	20	kWh/m <sup>2</sup>



IMMEUBLE - ISO C + ULTRA + ISO murs	ISO E'	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	80	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	167725	kWh
Gain en +	11,8%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	102	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	22	kWh/m <sup>2</sup>



ÎLOT - ISO C + ULTRA + ISO murs	ISO EE+E'	ISO EI+E'	ISO II+E'	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	110	108	112	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	1314455	1289268	1347458	kWh
Déperditions	1618477	1624964	1654143	kWh
Apports solaires bruts	247050	296452	247050	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z7, 12)	8,35	15,35	15,34	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	0,27	0,64	0,7	%

ÎLOT COMPARAISON	Besoin de chauff / an	Besoin de chauff / m <sup>2</sup> .an	Différence avec BASE	Gain %	
BASE	3479744	290	/	en +	total
ISO C + ULTRA + ISO EE+E'	1314455	<b>110</b>	-2165289	<b>-20,2%</b>	-62,2%
ISO C + ULTRA + ISO EI+E'	1289268	<b>113</b>	-2190476	<b>-21%</b>	-63%
ISO C + ULTRA + ISO II+E'	1347458	<b>112</b>	-2132286	<b>-19,3%</b>	-61,3%

#### 1.4. Isolation des dalles

INTERVENTIONS	
Maisons	ISO V
Immeuble	ISO D

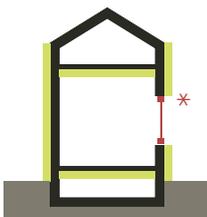
##### **Rappel**

Les calculs sont effectués avec:

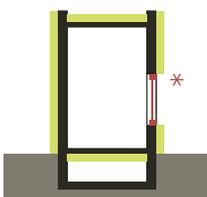
- Le plancher des combles isolés;
- Des châssis de type «ULTRA»;
- Les murs isolés par l'extérieur.

##### **Conclusion**

- L'influence de l'isolation des planchers sur cave est suffisamment importante (+-11%) pour décider de la mettre en oeuvre;
- La présence de canalisation le long des caves génère une difficulté de mise en oeuvre ainsi que la diminution de la hauteur sous plafond;
- Le gain pour l'immeuble et l'appartement est sensiblement le même car avant l'amélioration de la dalle, les 2 types de bâtiments sont isolés de la même façon (toit+murs+châssis);
- L'isolation des dalles permet d'améliorer le confort thermique au niveau du sol du rez-de-chaussée;



MAISONS - ISO C + ULTRA + ISO EE+E'	ISO V	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	78	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	769542	kWh
Gain en +	11,6%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	104	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	20	kWh/m <sup>2</sup>



IMMEUBLE - ISO C + ULTRA + ISO EE+E'	ISO D	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	67	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	141559	kWh
Gain en +	11,4%	%
Déperditions	90	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	22	kWh/m <sup>2</sup>



ÎLOT - ISO C + ULTRA + ISO EE+E'	ISO V+D	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	76	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	911101	kWh
Déperditions	1213626	kWh
Apports solaires bruts	247050	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z7)	9,2	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	0,56	%

ÎLOT COMPARAISON	Besoin de chauff / an	Besoin de chauff / m <sup>2</sup> .an	Différence avec BASE	Gain %	
				en +	total
BASE	3479744	290	/		
ISO C + ULTRA + ISO EE+E' + ISO V+D	911101	<b>76</b>	-2568643	<b>-11,6%</b>	-73,8 %

### 1.5. Ventilation double flux

INTERVENTIONS	
Maisons	1 DF/maison
Immeuble	1 DF/immeuble

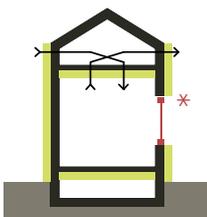
#### **Rappel**

Les calculs sont effectués avec:

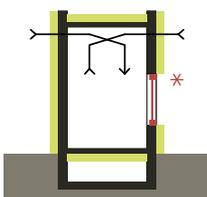
- Le plancher des combles isolé;
- Des châssis de type «ULTRA»;
- Les murs isolés par l'extérieur;
- Les dalles isolées;
- Un rendement théorique de 85% pour la ventilation double flux.

#### **Conclusion**

- L'ajout de la ventilation double flux permet de diminuer encore de 11% en moyenne les besoins de chauffage et notamment d'atteindre le standard «basse énergie» (60kWh/m<sup>2</sup>an) dans les maisons et dans l'immeuble;
- Le gain est similaire à celui des opérations telles que le remplacement des châssis ou l'isolation des dalles. Vu que l'installation d'une VMC double flux implique d'autres investissements non pris en compte dans l'étude (faux plafonds, gaines techniques, percements ...), ce choix pourrait ne pas être retenu. Cependant suite aux différentes actions d'isolation, l'étanchéité du bâtiment impose une ventilation optimum; les apports supplémentaires que procure une installation double flux pourraient influencer le choix du type de ventilation mécanique;
- Le gain de 11,2% est calculé par rapport à la situation de base (non isolée), cependant ce chiffre n'est pas significatif car une installation double flux n'est cohérente qu'après isolation de l'enveloppe du bâtiment, il faut donc comparer le gain avec la situation complètement isolée; il est alors de 43% ce qui est très important;
- Pour l'immeuble, le gain d'énergie par rapport à la solution de base est forcément plus élevé, car le modèle de base de l'immeuble est déjà isolé.



MAISONS - ISO C + ULTRA + ISO EE+E' +DF	DF	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	45	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	447946	kWh
Gain en +	9,9%	%
Déperditions /m <sup>2</sup> .an	70	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	20	kWh/m <sup>2</sup>

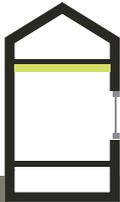
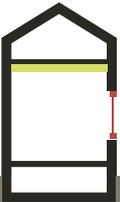
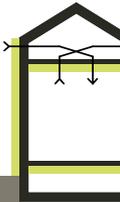
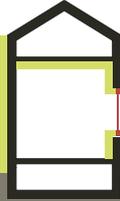
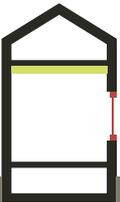
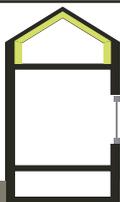
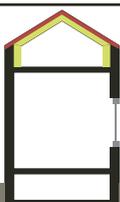


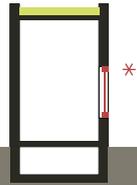
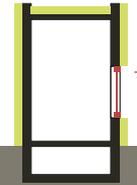
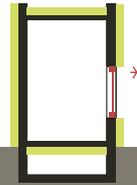
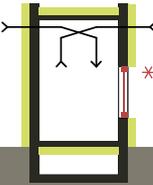
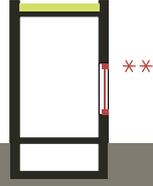
IMMEUBLE - ISO C + ULTRA + ISO EE+E' +DF	DF	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	35	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	73176	kWh
Gain en +	29,7%	%
Déperditions	56	kWh/m <sup>2</sup>
Apports solaires /m <sup>2</sup> .an	22	kWh/m <sup>2</sup>

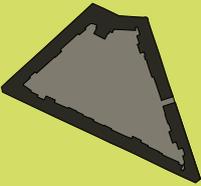


ÎLOT - ISO C + ULTRA + ISO EE+E' +DF	DF	Unité
Besoin de chauffage /m <sup>2</sup> .an	43	kWh/m <sup>2</sup>
Besoin de chauffage /an	521122	kWh
Déperditions	811257	kWh
Apports solaires bruts	247050	kWh
Moyenne de surchauffe max (max :Z7)	11,64	1/10 °C
Taux d'inconfort max (max: Z7)	4,04	%

ÎLOT COMPARAISON	Besoin de chauff / an	Besoin de chauff / m <sup>2</sup> .an	Différence avec BASE	Gain %	
BASE	3479744	290	/	en +	total
ISO C + ULTRA + ISO EE+E' + ISO V+D	521122	<b>43</b>	-2958622	<b>-11,2%</b>	-85%

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
<p>COMPARAISON AVEC LES MAI- SONS DE BASE</p>  <p><b>329</b> kWh/m<sup>2</sup>an</p>	 <p><b>220</b></p>	 <p><b>185</b></p>	 <p><b>116</b></p>	 <p><b>78</b></p>	 <p><b>45</b></p>
			 <p><b>113</b></p>		
			 <p><b>119</b></p>		
		 <p><b>182</b></p>			
		 <p><b>192</b></p>			
		 <p><b>191</b></p>			

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
<b>COMPARAISON AVEC L'IM-MEUBLE DE BASE</b>  <b>109 kWh/m<sup>2</sup>an</b>					
	<b>98</b>	<b>93</b>	<b>80</b>	<b>67</b>	<b>35</b>
					
		<b>92</b>			

TESTS	1. toiture	2. + châssis	3. + murs	4. + dalle	5. + double flux
<b>COMPARAISON AVEC L'ÎLOT DE BASE</b>  <b>290 kWh/m<sup>2</sup>an</b> <b>100%</b>	ISO C+TP <b>240</b> <b>-31,6%</b>	ULTRA <b>198</b> <b>-42%</b>	ISO EE+E' <b>110</b> <b>-62,2%</b>	ISO V+D <b>76</b> <b>-73,8%</b>	DF <b>43</b> <b>-85%</b>
			ISO EI+E' <b>113</b> <b>-63%</b>		
			ISO II+E' <b>112</b> <b>-61,3%</b>		
		ONE <b>166</b> <b>-42,8%<sub>x</sub></b>			
	ISO TI+TP <b>178</b> <b>-27,7%</b> <b>+2323m<sup>2</sup></b>				
ISO TN+TP <b>177</b> <b>-28%</b> <b>+2323m<sup>2</sup></b>					

## 1.6. Coût des améliorations

---

Les coûts (voir tableau ci-contre) sont calculés de la manière suivante:

- De manière approximative, le but est d'avoir un ordre de grandeur;
- $\text{Prix} = (\text{Surface des parois}) \times (\text{prix HTVA au mètre carré})$ ;
- Ne prend pas en compte d'éventuel prime;
- Prend en compte la pose et un éventuel démontage (châssis, toiture);
- La surface des murs est prise brut (surface mur + surface vitrée) de manière à:
  - Prendre en compte les difficultés techniques rencontrées (jonction châssis / parement ...) qui engendrent des frais complémentaires;
  - Prendre en compte l'isolation sur un mètre de mur de refend et sur les retours des baies lorsqu'on isole par l'intérieur;
- Prix calculé pour les actions étudiées, on ne prend pas en compte le remplacement éventuel des chaudières, l'installation d'un chauffage solaire, le réaménagement intérieur;
- Prend en compte la démolition des annexes.

## 1.7. Conclusion

---

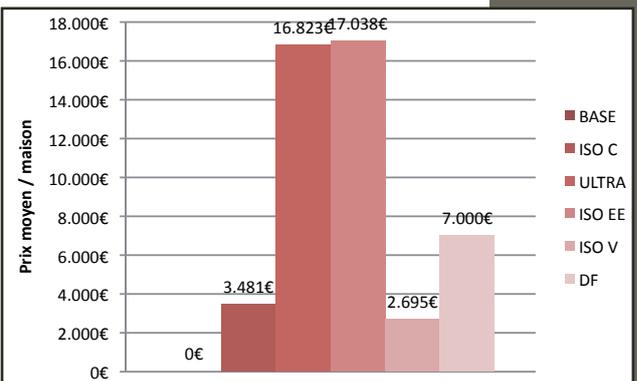
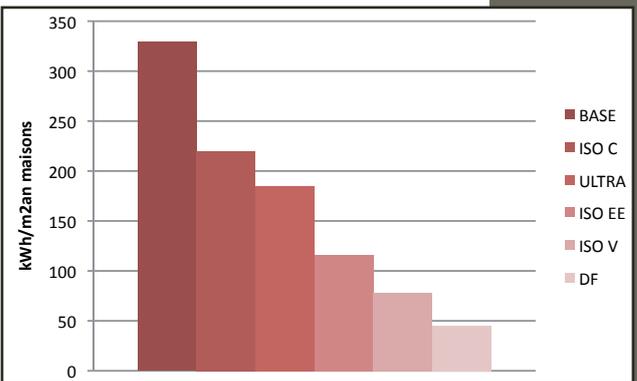
Pour le dernier cas traité (tout isolé + double flux), on constate que la première amélioration est nettement plus grande que les suivantes, l'hypothèse que les problèmes de fuites d'air est réglé dès la première action est la raison de cette différence. Les autres améliorations apportent un gain en besoin de chauffage sensiblement identique et conséquent pour les maisons. Pour l'immeuble, chaque palier du graphique est plus petit excepté lors de l'application d'une ventilation double flux, le fait que le bâtiment soit déjà isolé explique ce type d'évolution.

Du point de vue énergétique, chaque action dans le bâtiment se justifie dans les maisons, par contre dans l'immeuble, le gain énergétique dû au remplacement des châssis est moindre vu la présence de double vitrage actuellement.

Avec les solutions choisies, le standard «basse énergie» (60 kWh/m<sup>2</sup>.an) n'est atteint que si l'on utilise une ventilation double flux. En effet, si l'on décide d'isoler encore plus sans mettre de double flux, il serait très difficile d'atteindre le standard basse énergie. A partir d'un certain degré d'isolation, il est plus intéressant d'investir dans une ventilation double flux plutôt que dans une isolation supplémentaire (à condition que le bâtiment soit étanche à l'air).

Du point de vue du coût, le degré d'efficacité des actions varie énormément. L'isolation du plancher des combles et des dalles, travail peu cher et moins contraignant au niveau technique, se démarque très fort de l'isolation des murs et du remplacement des châssis. Pour l'investissement d'une ventilation double flux, il faut souligner qu'il n'est efficace que si le bâtiment est correctement isolé et surtout bien étanche à l'air. Si la VMC double flux génère peu de frais d'entretien et de

FIGURE 46: Évolution du gain en FIGURE 47: Prix de chaque amélioration de chauffage pour 1 maison ration pour 1 maison



TEST N°5	PRIX TOTAL
MAISONS	<b>2.795.126 €</b>
1 MAISON	<b>47.037 €</b>
IMMEUBLE	<b>328.088 €</b>
ÎLOT	<b>3.123.214 €</b>

FIGURE 48: Évolution du gain en besoin de chauffage pour l'immeuble ration pour l'immeuble

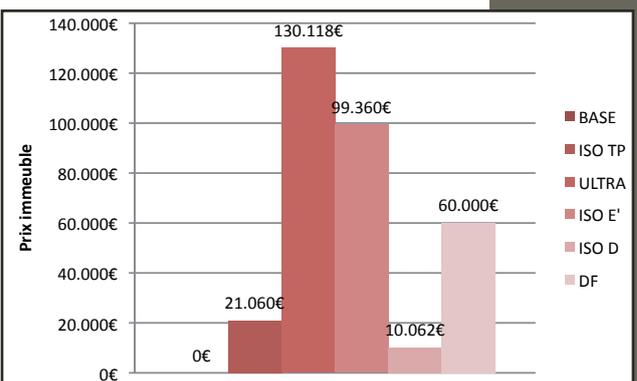
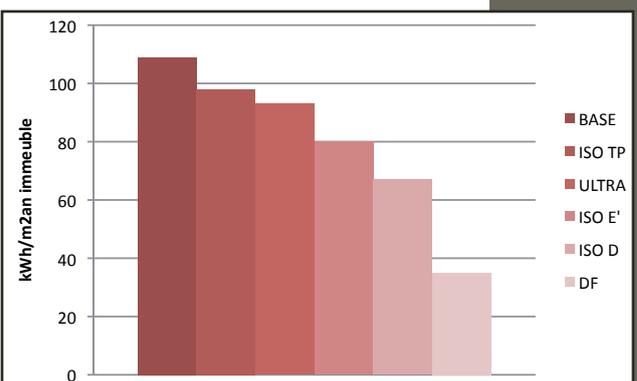


FIGURE 49: Prix de chaque amélioration de chauffage pour l'immeuble

SURFACES		Toits		Châssis		Murs			Dalles		PRIX/habitation	
MAISONS	IMMEUBLE	Combles	Toitures	2230	Démontage	Murs total	Murs rue	Murs int. îlot	3340	57	Double flux	Démolition annexe
3340	234	3820	234	2230	30€	8910	4733	4177	3340	57	7.000€	2.000€
IMMEUBLE				302,6		1380			234	1	60.000€	
PRIX AU M²		Toitures		Châssis		Murs			Dalles		PRIX/habitation	
MAISONS	IMMEUBLE	Combles	Toiture 1	Toiture 2	ULTRA	ONE	Murs iso ext	Murs iso int	Dalle	Double flux	Démolition annexe	
59€	97€	172€	400€	450€	400€	450€	109€	81€	46€	7.000€	2.000€	
90€			400€	450€			72€		43€	60.000€		
PRIX TOTAL		Toitures		Châssis		Murs			Dalles		PRIX/habitation	
MAISONS	IMMEUBLE	ISO C	ISO TI	ISO TN	ULTRA	ONE	ISO EE	ISO EI	ISO II	ISO V	DF	Démolition annexe
198.396€	3.481€	369.776€	6.487€	656.276€	958.900€	1.070.400€	971.190€	839.613€	723.492€	153.640€	399.000€	114.000€
							17.038€	14.730€	12.693€	2.695€	7.000€	2.000€
							ISO E'		ISO D	DF		
							99.360€		10.062€	60.000€		

consommation, son installation dans le cas d'une rénovation présente des difficultés techniques (passage des gaines, mise en place du groupe de ventilation).

Sur un îlot complet, le coût se situe aux alentours de 2.800.000 € pour les maisons et de 320.000 € pour l'immeuble, pour une opération complète (tout isolé + double flux). Le prix par maison est de 47.000 €. Mais il faut souligner que des coûts collatéraux sont aussi à prendre en considération lorsqu'on applique une rénovation environnementale globale. Par contre une intervention sur un îlot urbain permet de réduire les coûts unitaires par rapport à une action ponctuelle sur un bâtiment.

A l'échelle de l'îlot, l'opération de rénovation (isolation complète + double flux) permet de diminuer le besoin de chauffage de -2.958.622 kWh par an.

Le prix en janvier 2010 du gaz naturel en RW est de 4,3 à 7,3 c€/kWh (PCI)<sup>1</sup> selon les fournisseurs, soit une moyenne de 5,8 c€/kWh. Le rendement des installations de chauffage fluctue entre 65 à 90%. Pour une installation dont le rendement est de 80%, le prix moyen du kWh fourni (au niveau du besoin) est de 7,25 c€/kWh.

Globalement l'investissement vaut 3000 k€ x 1,06 (TVA) = 3180 k€ TVA comprise (6% pour une rénovation).

Le gain annuel en besoin de chauffage vaut environ 3000 MWh x 0,0725 € = 217,5 k€/an.

Sans tenir compte des frais d'emprunt en première approximation couvert par l'augmentation du coût de l'énergie, le temps de retour sur investissement est de l'ordre de 14,6 ans.

En admettant que le projet puisse bénéficier de 50% de prime, le temps de retour serait de l'ordre de 7,2 ans ce qui est relativement court.

Un gain de 3000 MWh en besoin de chauffage représente:

- 300 000 litres de mazout (1 litre de mazout = 36 MJ = 10kWh);
- 296 500 mètres cube de gaz ( $1\text{m}^3 = 36,43\text{ MJ} = 10,12\text{kWh}$ );
- 1000 tonnes de CO<sup>2</sup>/an (Avec rendement chaudière de 80%; gaz naturel: 0,28 kg CO<sub>2</sub>/kWh)

---

1 Pouvoir Calorifique Inférieur



## 2. Stratégies de rénovation

L'analyse des différentes améliorations énergétiques appliquées à l'îlot, permet d'isoler les meilleures actions envisageables pour la rénovation environnementale de l'îlot urbain choisi:

	1. Toiture	2. Châssis	3. Murs	4. Dalle	5. Double flux
<b>AMÉLIORATIONS RETENUES</b>	<b>ISO C+TP***</b>	<b>ULTRA***</b>	ISO EE+E'	<b>ISO V+D**</b>	<b>DF**</b>
			<b>ISO EI+E'***</b>		
			<b>ISO II+E'***</b>		
	ONE				
	<b>ISO TI+TP**</b>				
<b>ISO TN+TP**</b>					

Seulement deux améliorations sont exclues:

- L'isolation des murs à rue par l'extérieur n'est pas envisageable vu la qualité architectural de l'ensemble bâti (cela a cependant été envisagé au début de l'étude pour comparer les résultats);
- Le passage à un vitrage de type «ONE» et à des châssis améliorés ne se justifie pas vu son prix et le faible gain énergétique qu'il apporte.

### 2.1. Choix des variantes

Il s'agit maintenant de mettre au point plusieurs stratégies de rénovation, soit des variantes, composées de combinaisons d'actions retenues. Au point de vue du besoin de chauffage, l'objectif est de rester sous la barre des 100 kWh/m<sup>2</sup>-an, donc chaque variante prend en compte une isolation complète de l'enveloppe extérieure des maisons. Vu que l'immeuble est déjà isolé, il n'est pas nécessaire à chaque variante d'isoler toute l'enveloppe du bâtiment. On sépare les stratégies appliquées à l'îlot de celles appliquées à l'immeuble.

### 2.2. Variante I

Cette variante s'oriente vers des choix d'économie de coût par l'application des actions les plus simples techniquement.

### 2.3. Variante II

De nouvelles toitures, un nouveau parement en coeur d'îlot et tout autour de l'immeuble apporte une plus grande qualité esthétique, ainsi qu'une cohérence à l'ensemble bâti. L'isolation de la toiture permet de gagner des surfaces utiles dans les combles, ce qui est intéressant vu la surface perdue par la démolition des annexes.

### 2.4. Variante III

Pour les maisons la variante III est caractérisée par un plus grand gain d'espace grâce à la construction de nouvelles annexes en coeur d'îlot et à l'isolation de la toiture. Ces annexes sont construites tout le long des façades arrière existantes sauf dans les coins pour éviter les problèmes de lumière (voir figure 50). La profondeur des ces extensions est de 4,2 m, les façades sont largement vitrées de manière à ap-

porter le plus de lumière possible dans le coeur du bâtiment. La hauteur d'un seul niveau permet de créer des terrasses accessibles au premier étage. Ces extensions participent au bon aménagement de l'intérieur de l'îlot<sup>1</sup>. Un nouveau bardage sur les façades arrière améliore encore la qualité architecturale de l'espace bâti. L'installation d'une VMC double flux dans l'immeuble permet d'améliorer considérablement sa qualité énergétique.

### 2.5. Variante IV

Cette dernière variante est composée des actions permettent d'atteindre le meilleur gain énergétique possible. L'installation de la VMC double flux se fait dans les combles dont le plancher est isolé. La construction de nouvelles annexes offre des espaces supplémentaires (voir variante III). Les châssis de l'immeuble à appartements sont remplacés.

#### N.B. Caractéristiques des parois des nouvelles annexes:

- Dalle sur solle: R=4,8;
- Mur: R=4;
- Toit terrasse: R=4,8;
- Ensemble châssis + vitrage: de type «ULTRA».

1 Voir détail de l'aménagement page 129

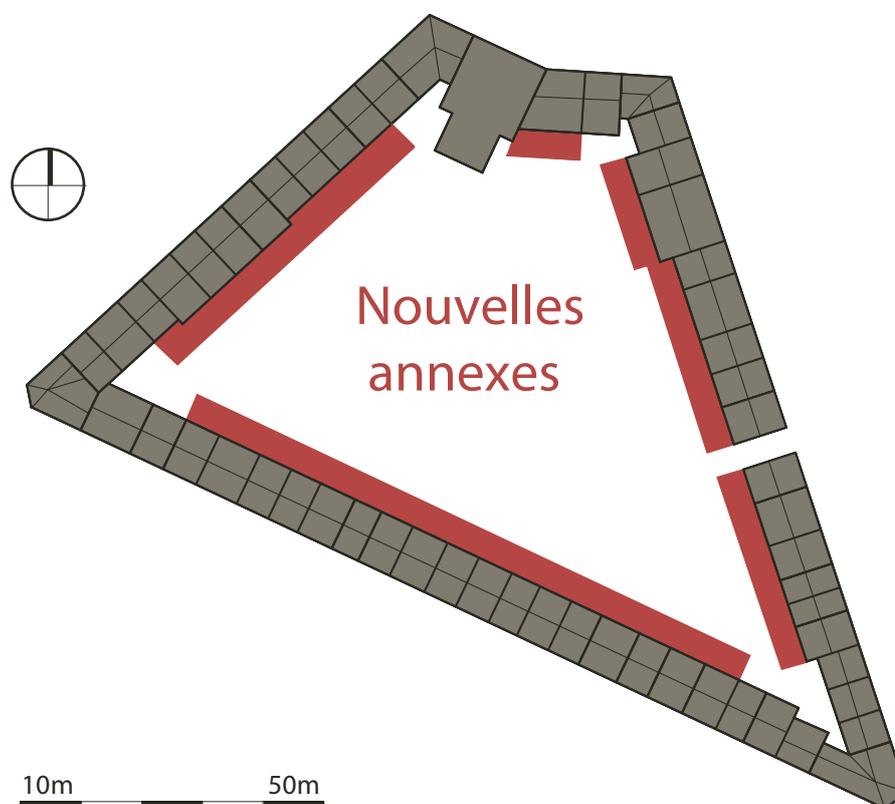
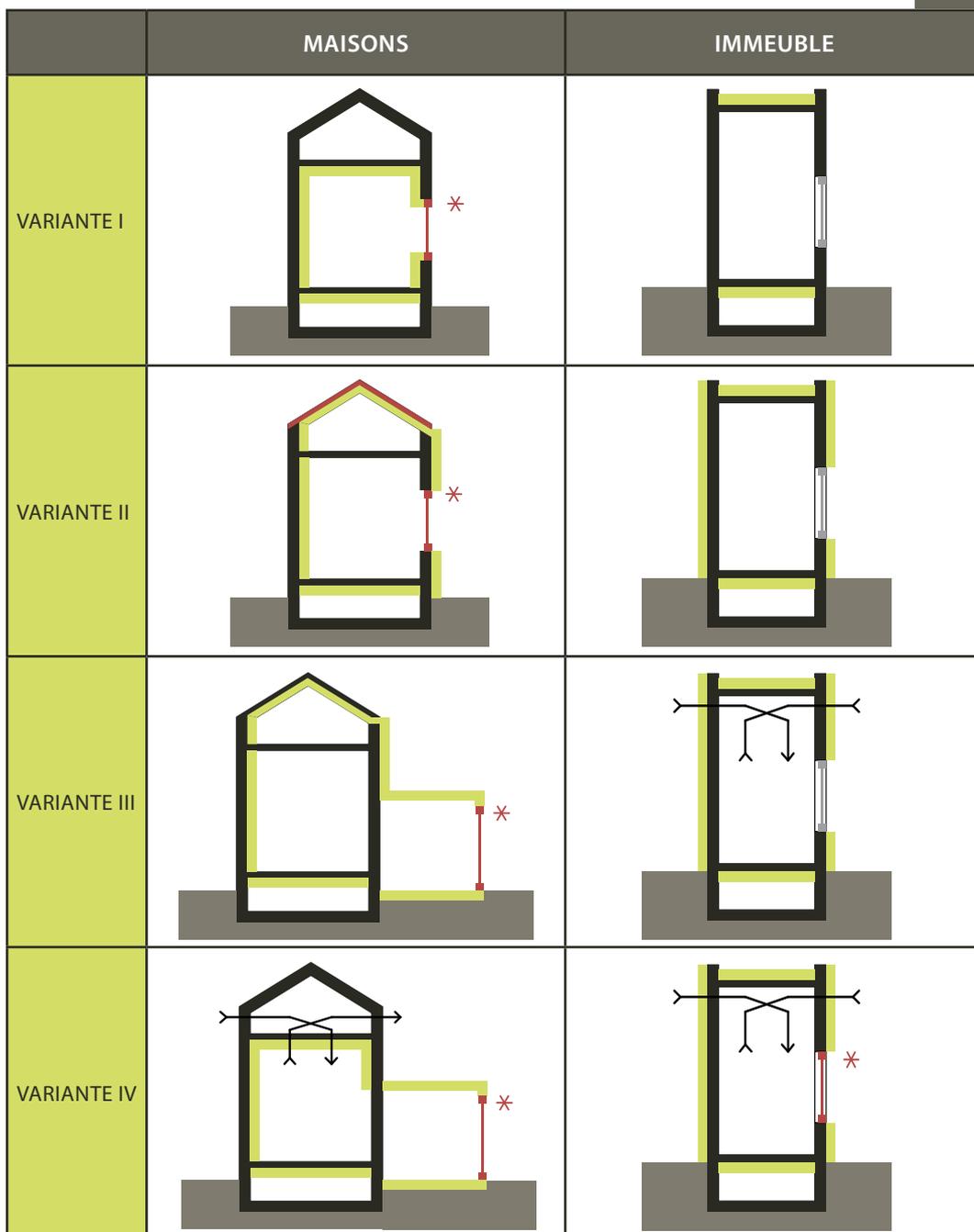


FIGURE 50: Emplacement des nouvelles annexes



MAISONS	1. Toiture	2. Châssis	3. Murs	4. Dalle	5. Double flux	6. Nouvelles annexes
VARIANTE I	ISO C	ULTRA	ISO II	ISO V	non	non
VARIANTE II	ISO TN		ISO EI		non	non
VARIANTE III	ISO TI		ISO II		non	oui
VARIANTE IV	ISO C		ISO II		oui	oui

IMMEUBLE	1. Toiture	2. Châssis	3. Murs	4. Dalle	5. Double flux
VARIANTE I	ISO TP	existants		ISO D	non
VARIANTE II		existants	ISO EI		non
VARIANTE III		existants	ISO II		oui
VARIANTE IV		ULTRA	ISO II		oui

COMPARAISON  
AVEC LES MAISONS  
DE BASE

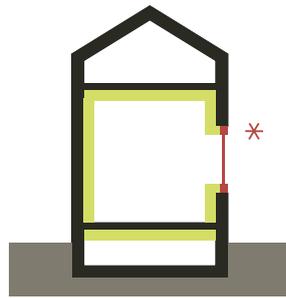


**329**  
kWh/m<sup>2</sup>.an

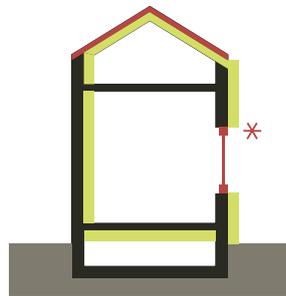
**3249605**  
kWh/an

**9880**  
m<sup>2</sup>

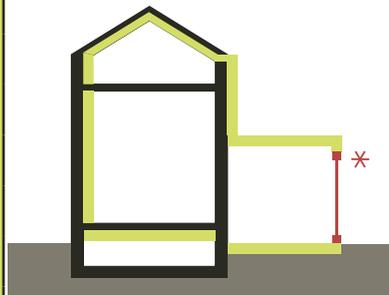
VARIANTE I



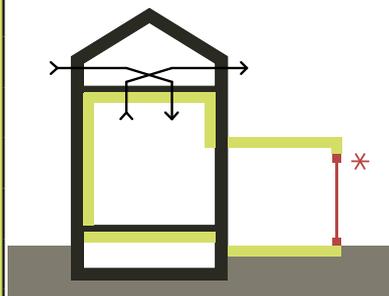
VARIANTE II



VARIANTE III



VARIANTE IV

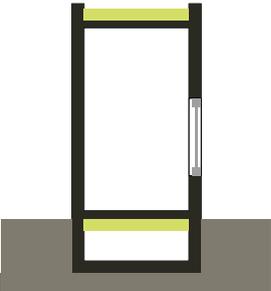
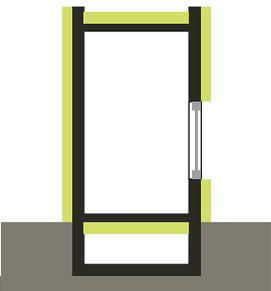
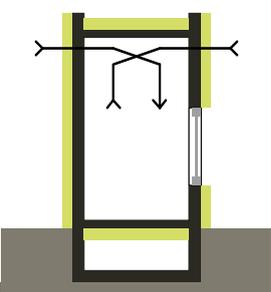
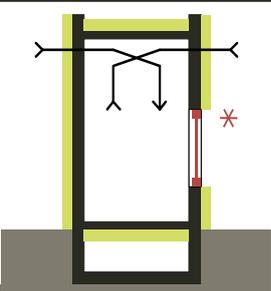


SCHÉMAS

RÉSULTATS

UNITÉ

Besoin de chauffage	<b>78</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
	769542	kWh/an
Gain en besoin de chauffage	-2480063	kWh/an
	<b>-76,3</b>	%
+surfaces comble	0	m <sup>2</sup>
+surfaces annexes	0	m <sup>2</sup>
Gain de surface	0	%
Prix/habitation	<b>39.692€</b>	€
Prix total	<b>2.262.428€</b>	€
Temps de retour	<b>13,3</b>	année
Besoin de chauffage	<b>68</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
	814376	kWh/an
Gain en besoin de chauffage	-2435229	kWh/an
	<b>-74,9</b>	%
+surfaces comble	2174	m <sup>2</sup>
+surfaces annexes	0	m <sup>2</sup>
Gain de surface	+22	%
Prix/habitation	<b>49.762€</b>	€
Prix total	<b>2.836.429€</b>	€
Temps de retour	<b>17</b>	année
Besoin de chauffage	<b>67</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
	879723	kWh/an
Gain en besoin de chauffage	-2369882	kWh/an
	<b>-72,9</b>	%
+surfaces comble	2174	m <sup>2</sup>
+surfaces annexes	1111	m <sup>2</sup>
Gain de surface	+33,2	%
Prix/habitation	<b>64.222€</b>	€
Prix total	<b>3.660.669€</b>	€
Temps de retour	<b>22,6</b>	année
Besoin de chauffage	<b>41</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
	445537	kWh/an
Gain en besoin de chauffage	-2804068	kWh/an
	<b>-86,3%</b>	%
+surfaces comble	0	m <sup>2</sup>
+surfaces annexes	1111	m <sup>2</sup>
Gain de surface	+11,2%	%
Prix/habitation	<b>64.178€</b>	€
Prix total	<b>3.658.168€</b>	€
Temps de retour	<b>19,1</b>	année

		SCHÉMAS	RÉSULTATS		UNITÉ
<p>COMPARAISON AVEC L'IMMEUBLE DE BASE</p>  <p><b>109 kWh/m<sup>2</sup>an</b></p> <p><b>230139 kWh/an</b></p> <p><b>2015 m<sup>2</sup></b></p>	VARIANTE I		Besoin de chauffage	<b>86</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
				180019	kWh/an
			Gain en besoin de chauffage	-50120	kWh/an
				<b>-21,8</b>	%
		Prix total	<b>41.122€</b>	€	
		Temps de retour	<b>12</b>	année	
	VARIANTE II		Besoin de chauffage	<b>73</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
				153687	kWh/an
			Gain en besoin de chauffage	-76452	kWh/an
				<b>-33,2</b>	%
		Prix total	<b>140.482€</b>	€	
		Temps de retour	<b>26,9</b>	année	
	VARIANTE III		Besoin de chauffage	<b>41</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an
				85313	kWh/an
			Gain en besoin de chauffage	-144826	kWh/an
				<b>-62,9</b>	%
	Prix total	<b>190.482€</b>	€		
	Temps de retour	<b>19,2</b>	année		
VARIANTE IV		Besoin de chauffage	<b>35</b>	kWh/m <sup>2</sup> .an	
			73176	kWh/an	
		Gain en besoin de chauffage	-156963	kWh/an	
			<b>-68,2</b>	%	
	Prix total	<b>320.600€</b>	€		
	Temps de retour	<b>29,9</b>	année		

Le calcul des prix est détaillé en annexes, page\*\*\*



## 1. Introduction

La diversité des objectifs nécessite de rechercher une solution composée des meilleurs compromis possibles. L'analyse multicritère vise à résoudre ce problème de décision.

L'analyse se fait sur les 4 variantes sans prendre en compte l'ajout de techniques de gain d'énergie poussées, ni de la gestion de l'eau qui ne sont pas des éléments déterminants de l'enveloppe du bâtiment. La décision ou non de leur intégration se fait selon une étude adaptée.

L'immeuble d'appartements et les maisons sont analysés séparément pour permettre un choix de variante par type de bâti.

## 2. Analyse

### 2.1. Détermination des critères et de leur pondération

Critères principaux	Pondération	Sous-critères	Pondération
Gain environnemental	0,35	Énergie de chauffage	1
Coût	0,3	Construction	0,5
		Temps de retour hors prime	0,4
		Utilisation	0,05
		Entretien	0,05
Qualité intérieure	0,2	Surface utile	0,35
		Lumière	0,4
		Confort ventilation	0,25
Qualité extérieure	0,1	Aspect architectural	0,8
		Surface de l'espace intérieur d'îlot	0,2
Faisabilité	0,05	Complexité de l'ouvrage	0,6
		Installation de chantier	0,4

Les critères sont choisis selon les axes de réflexion d'une rénovation de type environnementale (énergie, confort ...) mais aussi selon une approche d'un projet réalisable qui prend en compte le coût et la faisabilité.

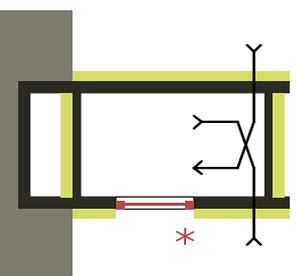
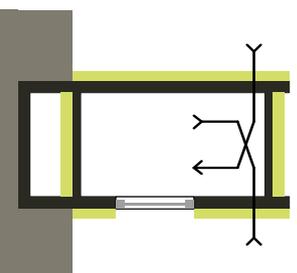
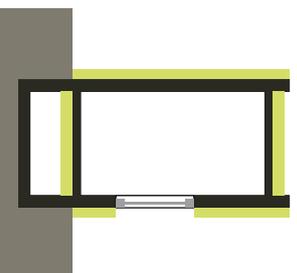
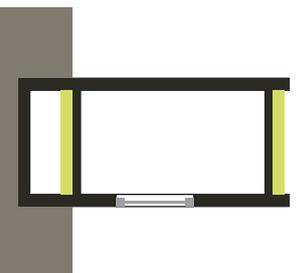
Ce tableau est destiné à l'analyse appliquées aux maisons (celui destiné à l'immeuble est sensiblement différent, voir tableau page\*\*\*). L'amélioration acoustique qu'apporte le remplacement des châssis n'est pas prise en compte dans l'analyse étant donné que chaque variante considère cette option.

Les pondérations choisies peuvent varier selon le maître d'ouvrage

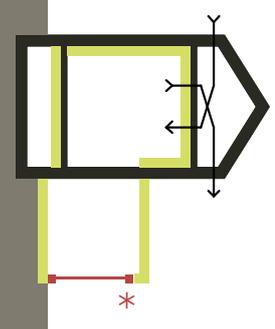
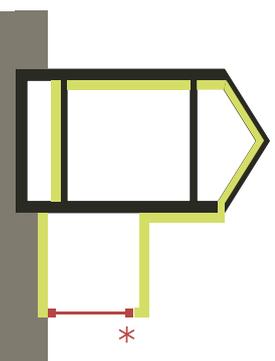
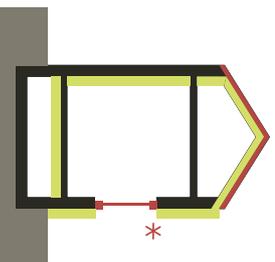
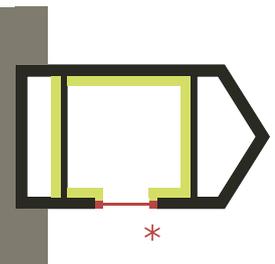
### 2.2. Cotation des variantes

Voir page suivante

IMMEUBLE		VARIANTE I	VARIANTE II	VARIANTE III	VARIANTE IV
Pondération	Sous-critère	Description	Description	Description	Description
Gain énergétique	Besoin de chauffage	- 21,8% de besoin de chauff. 86 kWh/m2.an	- 33,2% de besoin de chauff. 73 kWh/m2.an	- 62,9% de besoin de chauff. 41 kWh/m2.an	- 68,2% de besoin de chauff. 35 kWh/m2.an
		6	7	9	9,5
Coût	Construction	41.122€	140.482€	190.482€	320.600€
	Temps de retour hors prime	0,4	26,9	19,2	29,9
	Utilisation	VMR	VMR	double flux	double flux
	Entretien	VMR	VMR+bardage	double flux+bardage	double flux+bardage
Qualité intérieure					
	Confort ventilation	VMR	VMR	double flux	double flux
	Confort acoustique	identique base	identique base	identique base	améliorer par châssis ULTRA
Qualité extérieure					
	Aspect architectural	aspect d'origine conservé, qualité médiocre	nouveau bardage pour tout l'immeuble	nouveau bardage pour tout l'immeuble	nouveau bardage pour tout l'immeuble
Faisabilité					
	Complexité de l'ouvrage	isoler le toit est simple, isoler la dalle est un peu plus complexe	+ isoler les murs est complexe	+ double flux, opération complexe pour l'immeuble	+ double flux, opération complexe pour l'immeuble
0,05	Installation de chantier	sommaire	échafaudage pour l'immeuble	échafaudage pour l'immeuble	échafaudage pour l'immeuble
		0,4	6	6	6
<b>Note final pondérée /10</b>		<b>7,5</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>7,7</b>



MAISONS		VARIANTE I		VARIANTE II		VARIANTE III		VARIANTE IV		
Pondération	Sous-critère	Pondération	Description	Note	Description	Note	Description	Note	Description	Note
0,35	<b>Gain énergétique</b>		- 76,3% de besoin de chauff.		- 74,9% de besoin de chauff.		- 72,9% de besoin de chauff.		- 86,3% de besoin de chauff.	
	Besoin de chauffage	1	78 kWh/m2.an	7	68 kWh/m2.an	8	67 kWh/m2.an	8	41 kWh/m2.an	9,5
<b>Coût</b>				<b>7</b>		<b>8</b>		<b>8</b>		<b>9,5</b>
	Construction	0,5	2.262.428€	9	2.836.429€	8,5	3.660.929€	6	3.658.428€	6
	Temps de retour hors prime	0,4	13,3	9,0	17,0	8,0	22,6	6,5	19,1	7,5
	Utilisation	0,05	VMR, peu de surface	9,5	VMR + utilisation combles	9	VMR + utilisation combles et annexes	8	double flux + utilisation annexes	7,5
0,3	Entretien	0,05	châssis, VMR	9	châssis, VMR, parement bois des murs côté coeur d'ilot	8,5	châssis, VMR, parement bois des annexes et des murs côté coeur d'ilot	8	double flux, parement bois annexes	7,5
				<b>9,03</b>		<b>8,33</b>		<b>6,4</b>		<b>6,75</b>
<b>Qualité intérieure</b>										
0,2	Surface utile	0,35	9880	6,5	9880 + 2174	8,5	9880 + 2174 + 1111 (+terrasse)	9,5	9880 + 1111 (+terrasse)	8,5
	Lumière	0,4	apport inchangé par rapport au modèle de base	9	apport inchangé par rapport au modèle de base	9	perte de lumière dans le coeur de la maison à cause des annexes	7,5	perte de lumière dans le coeur de la maison à cause des annexes	7,5
	Confort ventilation	0,25	assurer par une VMR	7,5	assurer par une VMR	7,5	assurer par une VMR	7,5	double flux apporte un meilleur confort	9,5
				<b>7,75</b>		<b>8,45</b>		<b>8,2</b>		<b>8,35</b>
<b>Qualité extérieure</b>										
0,1	Aspect architectural	0,8	inchangé sauf châssis	7	nouvelle toiture et nouveau bardage en coeur d'ilot	8,5	annexes + bardage en coeur d'ilot	9,5	annexes	9
	Surface de l'espace semi-public	0,2	la totale	10	la totale	10	légerement plus petite	9	légerement plus petite	9
				<b>7,6</b>		<b>8,8</b>		<b>9,4</b>		<b>9</b>
<b>Faisabilité</b>										
0,05	Complexité de l'ouvrage	0,6	iso comble facile + iso intérieur	7,5	nouvelle toiture + iso mur int + iso mur ext	7	jonction annexes existant + iso mur int + iso toit int + iso mur ext	6,5	jonction annexes existant + iso mur int + iso toit int	5
	Installation de chantier	0,4	rien de spécial	10	échafaudage	7	échafaudage + installation pour construction annexes	7	installation pour construction annexes	7,5
				<b>8,5</b>		<b>7</b>		<b>6,7</b>		<b>6</b>
<b>Note final pondérée /10</b>				<b>7,9</b>		<b>8,2</b>		<b>7,6</b>		<b>8,2</b>



### 3. Conclusion<sup>1</sup>

---

#### 3.1. Variantes maisons

---

Au final, les écarts des notes ne sont pas forts importants étant donné que chaque variante comprend des points positifs et négatifs qui se compensent. Cependant les variantes 2 et 4 se démarquent avec chacune leurs points forts:

- Variante 2:
  - Surface utile: volume principale avec utilisation des combles;
  - Nouvelles façades arrière et toiture;
  - Coût de réalisation (investissement) moins élevé.
- Variante 4:
  - Gain énergétique plus important dû à la VMC double flux;
  - Confort grâce au double flux: acoustique, odeur, courant d'air (fenêtres fermées en ville);
  - Surface utile: volume principale sans l'utilisation des combles avec nouvelles annexes et terrasses;
  - Nouvelles annexes: intervention contemporaine qui introduit une dynamique positive à l'intérieur de l'îlot.

Et leurs points faibles:

- Variante 2:
  - Besoin de chauffage plus important;
  - Pas de terrasse au premier niveau.
- Variante 4:
  - Coût d'investissement très élevé;
  - Difficulté de la réalisation: double flux et construction en coeur d'îlot.

Dans le cas des maisons le choix d'une variante est partagé et conditionné essentiellement par le budget disponible pour la réalisation des travaux.

De plus dans le cadre de cette étude, les variantes ont été globalisées à l'ensemble des maisons, mais lors d'une application concrète, il est évident que certains choix se feront pour tout l'îlot (par exemple, la démolition des annexes, installation de panneaux solaires...) et d'autres au cas par cas, selon l'état des composants des différents bâtiments (châssis, couverture...).

#### 3.2. Variantes immeuble

---

Le prix élevé des interventions sur ce type de bâtiment augmente globalement le temps de retour sur investissement. Lorsque les châssis ont été remplacés 10 ou 15 ans auparavant, l'investissement de leur remplacement est moins justifié. Il est alors plus judicieux d'installer un système de ventilation double flux.

Une variante se démarque plus nettement, la variante 3, qui reprend aussi le renouvellement des façades pour une image positive dans le cadre d'une rénovation

---

<sup>1</sup> Le calcul du prix des différentes variantes est en annexes, page 158



environnementale.

### **3.3. Combinaison**

---

L'analyse de cet îlot présentant plusieurs typologies de bâti confirme l'importance d'étudier séparément chaque typologie afin d'isoler pour chacune les combinaisons d'actions les plus intéressantes et ensuite de les associer.

## Application des systèmes d'énergie renouvelable

Le cadre principal de l'étude se situe au niveau de l'amélioration de l'enveloppe d'un îlot urbain, mais il est tout de même intéressant d'étudier succinctement le gain que fournirait l'intégration de système d'énergie renouvelable, soient:

- L'énergie photovoltaïque;
- L'énergie solaire thermique.

### 1.1. Énergie photovoltaïque<sup>1</sup>

#### **Remarques préliminaires :**

- Puissance capteurs de 120 à 180 Wc/m<sup>2</sup>, la plus fréquente 140 Wc/m<sup>2</sup>;<sup>2</sup>
- Coût Htva du système complet de 4 à 7 €/Wc, diminue si la surface de capteurs augmente;
- Rendement (énergie fournie par le capteur/énergie solaire incidente) des capteurs plan dans les conditions standards de test en moyenne 14%, max 18% (sauf si la place est limité ce critère n'est pas décisif);
- L'augmentation de la température rend les panneaux moins performants;
- Pour le rendement final, (énergie fournie au compteur/énergie solaire incidente) il faut tenir compte des pertes de transport et de transformation, de la situation et de l'orientation des capteurs, en moyenne 10%;
- Ces réductions sont prises en compte dans l'estimation de la production en kWh/kWc.an;
- Avec le temps un panneau solaire perd de sa puissance, en règle générale les fabricants garantissent 90% de Wc sur 10 ans et 80% sur 20 ans;
- En l'absence de primes, de déductions fiscales et de certificats verts, et en estimant que l'augmentation du coût de l'énergie couvre approximativement les frais d'emprunt, la durée d'amortissement est supérieure à 25 ans. Pour un particulier qui bénéficie de tous ces avantages en RW, cette durée est de 4 à 6 ans

Selon les études de la CWaPE, la consommation moyenne annuelle de clients résidentiels vaut:

- 3500 kWh/an pour le Client à comptage unique;
- 2000 kWh/an pour le consommateur URE; ménage théorique composé de 2,4 personnes utilisant l'électricité pour un usage spécifique hors chauffage, eau chaude sanitaire et cuisson et disposant d'appareils électriques performants.

<sup>1</sup> Caculs effectués avec le logiciel disponible sur le lien suivant:  
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps/radmonth.php?lang=fr&map=europe>

<sup>2</sup> Wc: watt-crête est une unité de mesure représentant la puissance maximale d'un dispositif, permet de comparer l'efficacité des capteurs



Puissance capteur: 140	Production	Production	Surface toit	Surface capteur	Production
Wc/m <sup>2</sup>	kWh/kWc. an	kWh/ m <sup>2</sup> .an	m <sup>2</sup>	80%	kWh/an
Rue de l'enseignement	828	116	653	522	60557
Rue du parlement	748	105	575	460	48171
Rue J.d'Outre Meuse	810	113	350	280	31752
Coût moyen hors primes, htva	4,5 €/Wc	795312 €	<b>TOTAL</b>	<b>1262</b>	<b>140480</b>

Consommation /logement moyen en RW	3000
Nombre de logement total dans l'îlot	100
<b>Nombre de logements couverts</b>	<b>47</b>

En utilisant 80% de la superficie des toitures inclinées orientées vers le S, S-E, S-O, la production annuelle est estimée à 140 480 kWh/an, en considérant une consommation moyenne de 3000 kWh par logement, on peut couvrir approximativement la moitié de la consommation électrique de l'îlot.

## 1.2. Énergie solaire thermique

### Remarques préliminaires:

- Selon diverses sources, la consommation moyenne d'eau chaude sanitaire à 60° varie de 36 à 50 l/jr pers;
- Plus la surface de capteurs augmente, plus une partie importante du besoin en eau chaude sanitaire et/ou en chauffage est couvert avec de l'énergie solaire;
- Dans une installation bien conçue, la surface de capteurs est optimisée en tenant compte du coût de l'investissement, des primes, et d'une estimation de l'évolution du prix des énergies fossiles sur une durée de 20 ans;
- Bien que le rendement des capteurs thermiques (moyenne 70%) soit supérieur à celui des photovoltaïques (moyenne 14%), le rendement global du système (en moyenne 25% pour l'eau chaude sanitaire) est pénalisé par la difficulté d'ajuster la production des capteurs à la variation de la demande l'énergie pour un investissement rentable. Le stockage de l'énergie est l'origine de cette difficulté.

N.B. : Pour le capteurs photovoltaïques, le stockage est actuellement assuré gratuitement par le réseau de distribution

- Les systèmes de production d'eau chaude solaire donnent forcément de meilleurs résultats que les systèmes d'appoint solaire au chauffage, puisque la demande est plus constante;
- Pour un ménage de 4 personnes, une installation comprenant 4 à 5 m<sup>2</sup> de capteurs thermiques orientés sud, inclinés à 45° et un boiler de 300l, permet de couvrir en moyenne 60% des besoins en eau chaude sanitaire, càd 160€/an au tarif électricité de nuit, pour un investissement de ±6000€;

- Grâce au montant des primes et avantages fiscaux, de l'ordre de 5000€, la durée d'amortissement est de 6,2 ans, en estimant que l'augmentation du coût de l'énergie couvre approximativement les frais d'emprunt, sans ces avantages, cette durée serait supérieur à 30 ans!
- Les systèmes de chauffe-eau solaires thermiques dédiés aux grandes installations collectives permettent de réaliser des économies d'échelle et de réduire les inconvénients du stockage (nivellement de la fluctuation de la demande);
- Selon ESE-SOLAR, un système comprenant 406m<sup>2</sup> (optimalisés) de capteurs thermiques peut couvrir 65% d'une consommation de 10m<sup>3</sup> d'eau chaude à 60° par jour (soit 250 utilisateurs à raison de 40l/jr pers.), primes 50%, durée 20 ans.<sup>1</sup>

Le simulateur utilisé permet d'évaluer le taux de couverture d'un système de chauffe-eau solaire ses résultats correspondent aux conclusions de ESE-solar.<sup>2</sup>

Consommation 10000 l/jr à 60°	Taux cou- verture solaire	Produc- tion	Surface toits	Surface capteurs	Produc- tion
10000	64,6%	kWh/ m2.an	m2	62%	kWh/an
Rue de l'enseignement		335	653	406	136.010
Rue du parlement			575	0	0
Rue J.d'Outre Meuse			350	0	0
Coût moyen hors primes, htva	1.000 €/ m2	406000 €	<b>TOTAL</b>	<b>406</b>	<b>136010</b>
Consom ECS l/jr pers. moy		40			
Nombre total d'utilisateurs couverts		220			
<b>Nombre d'utilisateurs couverts</b>		<b>162</b>			

En installant 406 m<sup>2</sup> sur les versant de toiture les mieux orientés de l'îlot (rue de l'enseignement), la production d'eau chaude sanitaire permet de couvrir environ 73% de la consommation des habitants de l'îlot (soit 10000 l/jr à 60°).

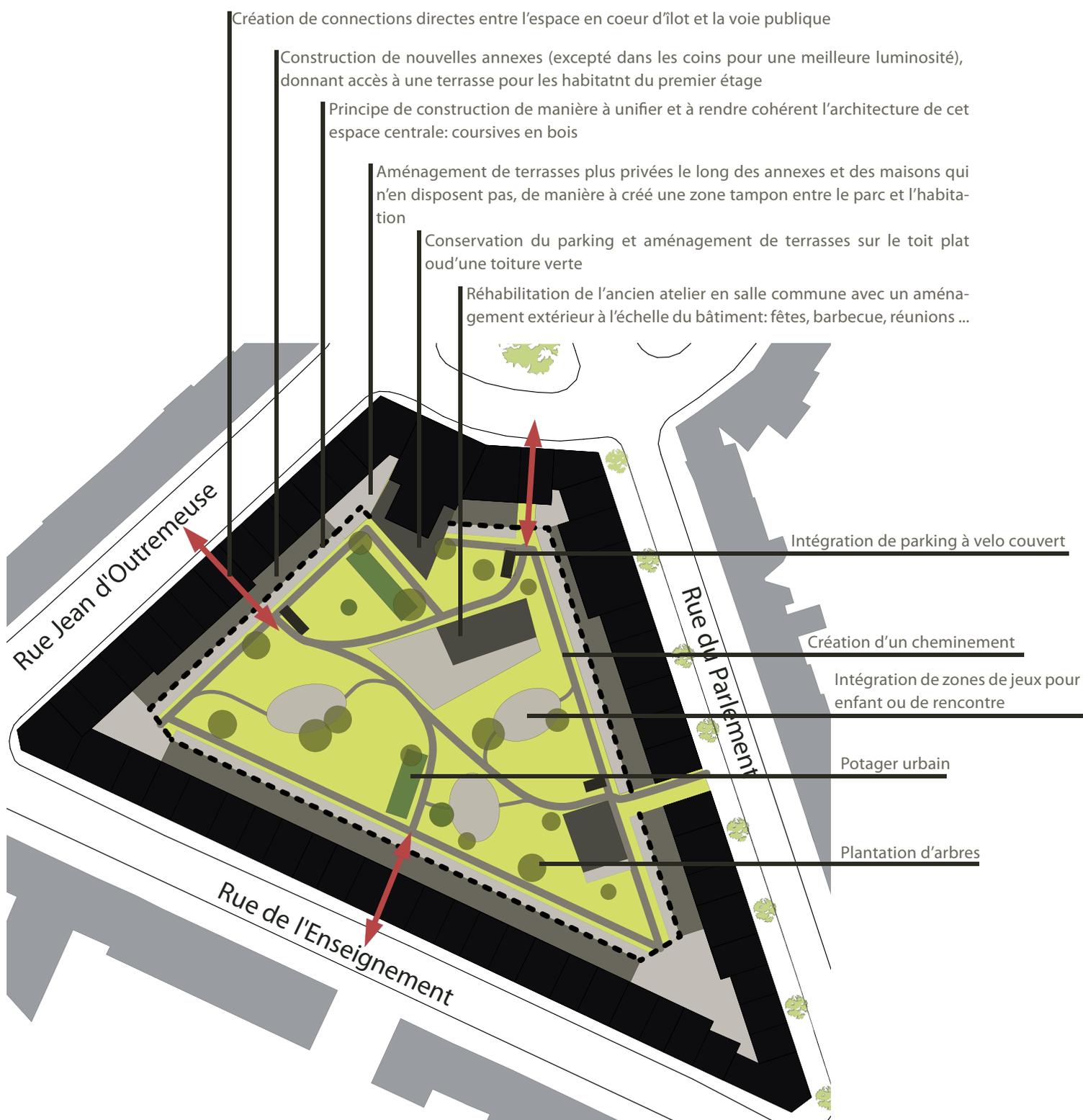
Il est primordiale de bien dimensionner la surface de capteur en fonction de la consommation; au delà d'une certaine surface, l'investissement n'est plus rentable étant donné que dans des conditions climatiques moyennes et favorables, le potentiel de production des panneaux n'est plus assimilable par le stockage.

1 <http://www.es-solar.com/documentation.php> - ese

2 <http://www.tecsol.fr/fr/SolterAc2.htm> - Résultats en annexes page 159

### 1. Schéma d'intentions

Un schéma d'intentions de l'aménagement de l'intérieur de l'îlot est réalisé, pour permettre un aménagement en accord avec les axes de réflexion avancés. Le cas étudié est celui où de nouvelles annexes sont construites en coeur d'îlot.







## 2. Exemples d'aménagement

---

- Les annexes sont des volumes simples;
- Principe de construction:
  - Structure bois extérieure tout le long des façades laissant la possibilité d'y intégrer ou non un volume fermé;
  - Profondeur d'environ 4,5m;
  - Bardage bois;
  - Liberté dans le choix des ouvertures dans la trame;
  - Pare soleil au Sud.

L'intérêt de cette solution est de rendre cohérent l'aménagement intérieur en coeur d'îlot tout en proposant une diversité dynamisant cet espace (zones construites, zones de terrasses sous pergola, zones de passage vers la voie publique).

Ces annexes sont complétées par l'aménagement de terrasses au niveau du rez de chaussé qui contribue à mieux privatiser l'espace extérieur destiné à l'occupation privée, ce qui est accentué par des plantations adaptées.

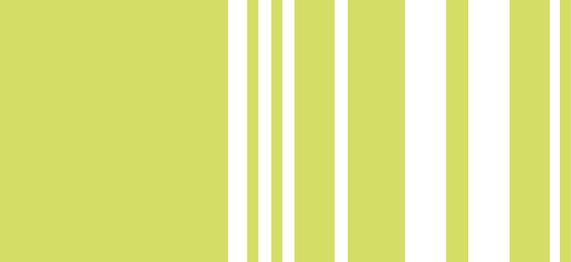
Les terrasses accessibles au premier niveau sont également privatisées par l'implantation de zones destinées aux plantations.

Les zones de passage vers la voie publique se réalisent sous les bâtiments existants, elles sont indiquées par un éclairage public adapté à l'échelle du piéton. Dans le cas d'un jardin semi-public il est possible d'y installer un passage sécurisé.











CONCLUSION

## Conclusion

Si ce travail met en évidence les lacunes énergétiques importantes d'un ensemble bâti ancien (îlot urbain début 19ème siècle), il met surtout au point une méthode qui permet de comparer diverses solutions d'amélioration de la qualité énergétique d'un îlot urbain.

L'exemple traité est un îlot représentatif du parc immobilier wallon de qualité médiocre tant au point de vue énergétique que de la qualité générale du bâti, il sert de support pour le développement de la méthode et les conclusions peuvent donc être généralisées à tout autre ensemble similaire. Cet exemple a permis d'étudier également un immeuble de typologie complètement différente avec ses solutions spécifiques.

Bien que la méthode devrait être affinée vu les hypothèses qui ont du être posées dans le cadre de la réalisation d'un travail théorique de fin d'études, la conclusion générale confirme l'importance de la rénovation «énergétique» de ce type d'îlot urbain cependant des actions prioritaires ne se démarquent pas nettement. Les moyens d'actions simples et efficaces sont mis en évidence pour diminuer l'impact énergétique au niveau d'un îlot urbain, notamment en priorité l'isolation de l'enveloppe. Notons aussi au point environnemental, l'importance des aménagements au coeur de l'îlot avec le traitement des constructions annexes.

Ces moyens généralisés à l'échelle d'un quartier ou d'une ville pourraient conduire à déterminer une politique de rénovation environnementale urbaine qui s'impose aujourd'hui.

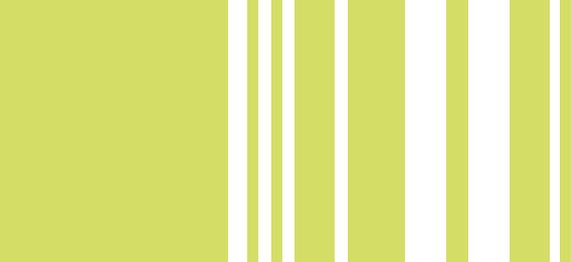
Si ce travail met en évidence certaines actions précises, il propose surtout une démarche à appliquer lors d'une rénovation environnementale urbaine.

Démarche, qui d'après l'exemple étudié dans ce travail, peut être généralisée:

- Inventaire de la situation existante et mise en évidence des lacunes environnementales;
- Modélisation énergétique de la situation existante;
- Définition des moyens d'action avec leurs combinaisons optimum;
- Modélisation avec application des combinaisons d'actions retenues;
- Mise en place de stratégies de rénovation et comparaison sur base d'analyse multicritère pour déterminer les choix en matière de rénovation environnementale d'un îlot urbain;

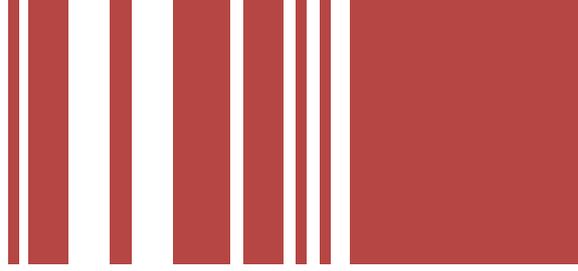
Il existe bien de nombreux moyens incitant les particuliers à investir pour l'amélioration énergétique de leur bien mais il faudrait néanmoins développer au niveau publique une démarche plus globale afin de garantir la qualité de l'habitat en ville pour les habitants quelque soient leurs moyens financiers et leurs statuts. Valoriser le bâti existant à l'échelle d'un îlot urbain ou d'un quartier génère non seulement une meilleure qualité de vie aux particuliers mais induit une dynamique environnementale générale pour la communauté. C'est pourquoi ce travail est réalisé à l'échelle d'un îlot urbain et répond à la nécessité de fournir aux investisseurs, une méthode objective pour les choix des actions à mettre en place, dans le cadre d'une rénovation environnementale urbaine.





# ANNEXES

<b>Conclusion</b>	134
<b>Étude de l'UCL - Résumé</b>	141
1. Caractéristiques générales des logements wallons	141
2. Caractéristiques énergétiques et environnementales	142
3. Amélioration en terme de gestion de l'eau	143
4. Typologies prioritaires	144
<b>Exigences à atteindre en rénovation sur l'isolation thermique</b>	149
<b>CWATUPE: articles concernant les «centres anciens protégés»</b>	150
<b>NBN B62-202:2007</b>	152
<b>Tableaux comparatifs des matériaux</b>	153
<b>Calcul du prix des variantes</b>	158
<b>Détail du calcul des panneaux solaires thermiques</b>	159
<b>Rénovation d'une maison de maître à Liège</b>	160
<b>Réhabilitation écologique de l'îlot Hedebygade</b>	170





Titre complet: La rénovation énergétique et durable des logements wallons - Analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires.<sup>1</sup>

## 1. Caractéristiques générales des logements wallons

### Occupation du territoire

Superficie totale : 16.844 km<sup>2</sup>

- Forêt 29,5%
- Agriculture 52,6%
- Zones bâties 13,6%

5 provinces, 262 communes

Nombre de logements principaux : ± 1.490.000 (+ résidences secondaires)

### Population et ménages

Population : 3.456.775 habitants

Taille moyenne des ménages : 2,32 personnes/ménage

Densité : 205,2 hab/km<sup>2</sup> (UE25 : 32 ; France : 96 ; Flandre : 441 ; Pays-Bas : 3999)

Population active (15-64 ans) : ± 1.390.000 personnes

La plupart des logements wallons sont situés le long du sillon Sambre-et-Meuse . Ce sont les provinces du Hainaut et de Liège qui sont les plus peuplées (70% des logements wallons).

On estime à 18%, l'augmentation de la superficie totale bâtie en moins de 20 ans. Pour contrer cette urbanisation croissante et diffuse du territoire wallon, le CWA-TUPE ainsi que le SDER plaide l'utilisation parcimonieuse du sol et le renforcement de la structuration du territoire. Rénover le bâti existant constitue un excellent moyen de freiner cette croissance diffuse.

Ci-contre, le graphique nous montre que 27% de la population wallonne, pourcentage de la population résidant dans des noyaux de moins 800 habitants, occupe 92% du territoire. Et seulement la moitié de la population habite dans des zones atteignant un minimum de densité urbaine, celui-ci est fixé à 25 hab/ha.

Sur bases des caractéristiques des logements wallons, des priorités pour la rénovation durables ont établies.

### Évaluation des besoins de réhabilitation :

- Indice de salubrité
  - 37,8% de logements «moyens à très mauvais»
  - 9,5% des logements «mauvais et très mauvais»
- Indice de qualité
  - 44,8% de logements «moyens à très mauvais»
  - 11,6% de logements «mauvais à très mauvais»

<sup>1</sup> KINTS, C., « La rénovation énergétique et durable des logements wallons ; Analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires », Architecture & Climat, Université Catholique de Louvain, 2008.

- État du logement
  - 53% de logements «moyens à très mauvais»
  - 19,1% de logements «mauvais et très mauvais»

Le constat est évident, un grand nombre de logements ont besoin d'être réhabilités, il est dès lors intéressant de coupler ce travail à une rénovation énergétique.

**Principe de base : utilisation parcimonieuse du sol et renforcement de la structuration du territoire**

- Agir dans les zones de bâti dense et ancien : le sillon sambro-mosan, les centres urbains et villageois...
- Limiter la désurbanisation : rénovation des centres plutôt que «mitage des campagnes»
- Augmenter le parc de logements dans un souci de gestion parcimonieuse des sols (recyclage de bâtiments, zones déjà bâties)
- Augmenter le parc de logements locatifs bon marché (mécanisme des AIS...)
- Rénovation des configurations plus denses, qui présentent le plus de problèmes de qualité : appartements, maisons mitoyennes
- Encourager la création de ces types de logements lors de la création de nouveaux logements (réaffectations...)
- Attention aux «bâtiments divisés en plusieurs unités de logements»
- Standard actuel : 55-125 m<sup>2</sup> habitables
- Inadaptation des stocks à l'évolution de la taille des ménages besoin de petits logements
- Augmenter le nombre de logements par la division de très grands logements (mais contraintes urbanistiques ...)
- Lutter contre l'insalubrité et la suroccupation des petits logements

**2. Caractéristiques énergétiques et environnementales**

Sur bases des caractéristiques énergétiques des logements wallons, des priorités pour la rénovation durable sont établies.

**Quelques chiffres en résumé :**

- Emissions de CO<sub>2</sub> :
  - Maison moyenne en Wallonie : 5,2 tonnes éq. CO<sub>2</sub>/an
  - Emissions moyennes d'une voiture : 3,7 t éq. CO<sub>2</sub>/an
  - Secteur domestique en 1990 : 6.860 kt éq. CO<sub>2</sub>
  - Secteur domestique en 2004 : 7.135 kt éq. CO<sub>2</sub> (+ 4% ; consommation d'énergie pour la même période : + 10%)
  - Objectif de Kyoto secteur domestique : 6.240 kt éq. CO<sub>2</sub> (-7,5%)
- Consommations d'énergie (2005) :
  - Consommation moyenne / logement : 26837 kWh dont 19763 kWh



- pour le chauffage et 7.074 kWh pour les autres usages
- Consommation moyenne pour le chauffage des maisons : 20.530 kWh par an
- Consommation moyenne pour le chauffage des appartements : 16.005 kWh par an

#### **Priorités, évolutions nécessaires ...**

- Utilisation du gaz naturel s'il est présent, et développement de réseau où c'est rentable ;
- Logements énergivores : abandon du chauffage électrique
- Augmenter l'utilisation des énergies renouvelables
- Abandon du charbon, diminution du gaz en bonbonne

#### **Priorités pour la rénovation durable :**

- Isolation thermique performante de toutes les parois extérieures (importance des murs)
- Optimisation des équipements (appareils de chauffe, électroménager, éclairage, production d'eau chaude sanitaire...) et mise en place d'un système de ventilation efficace
- «Cerise sur le gâteau», les besoins ayant été très fortement réduits, fournir l'appoint nécessaire en utilisant des énergies d'origine renouvelable

Notons cependant que si l'ordre des priorités d'action semble évident, la réalité rencontrée sur le terrain est souvent loin d'être idéale : en premier on régule, ensuite on remplace la chaudière, enfin on isole le toit et les fenêtres.

### **3. Amélioration en terme de gestion de l'eau**

En Wallonie, si globalement les ressources en eau ne sont pas surexploitées, les rejets et pollutions d'origine domestique ont toutefois un impact sur la qualité des eaux (en particulier souterraines), nécessitant des traitements coûteux. La directive-cadre européenne a mené à une réorganisation complète de la gestion de l'eau à l'échelle de la Région. Son esprit est que l'eau est à considérer comme un patrimoine naturel commun, que nous devons gérer durablement – afin de limiter les impacts négatifs des prélèvements et rejets d'eaux usées, et de diminuer les risques d'inondations.

#### **A l'échelle du logement et des ménages, les priorités d'action seront les suivantes :**

- Gérer les eaux sur la parcelle
- Utiliser l'eau de distribution de manière sobre et rationnelle
- Valoriser les eaux de pluie
- Réduire la quantité et la nocivité des rejets d'eaux usées domestiques
- Freiner drastiquement l'utilisation des herbicides et pesticides par le parti-

culier.

#### 4. Typologies prioritaires

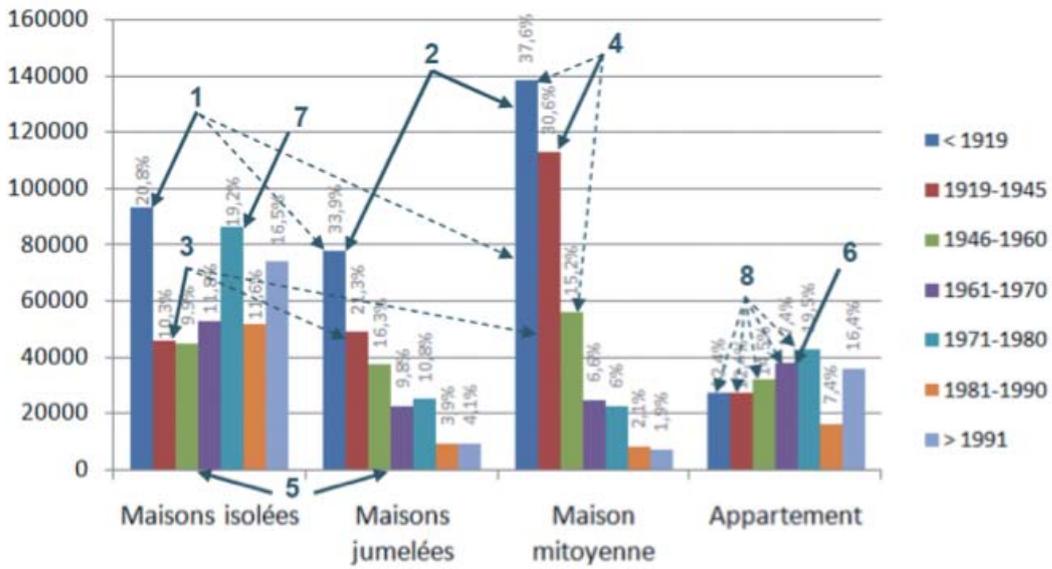
Le point final de cette étude est la détermination des typologies prioritaires du point de vue de leur rénovation énergétique. Comme on a pu le constater, la qualité énergétique des logements wallons est majoritairement mauvaise (sauf pour les logements récents). C'est l'isolation thermique (des murs, du toit, des fenêtres, du sol) qui est le critère déterminant la qualité énergétique du bâtiment. Mais définir des catégories de logements sur base de ce critère uniquement est assez difficile (isolation cachée, ...).

Dès lors il est plus intéressant d'identifier des « cas types », typologies largement représentatives de l'ensemble des logements de la Région, sur base d'autres critères que celui du niveau d'isolation, à savoir :

- Âge
- Taille
- Configuration
- Localisation
- Certaines caractéristiques constructives
- Type d'occupation
- ...

Ces caractéristiques sont liées entres-elles et interdépendantes. Le croisement des graphiques suivants et l'observation sur la terrain a permis de mettre en évidence 8 typologies qui semblent prioritaires (p\*\*\* et p\*\*\*). Ces catégories représentent +-76% des logements construits avant 1991. Les quartier de logements sociaux ainsi que les « sites à réaménagés » (la rénovation des SAR fait l'objet d'études parallèles) ne sont pas reprises dans cette liste.

Il importe de se concentrer sur les villes, en effet, les zones urbaines et périurbaines se sont fortement développées au début du 20e siècle, ce qui a donné naissance à un bâti dense et mitoyen. Les logements situés dans ces zones cumulent les besoins de réhabilitation. En effet il s'agit de logements anciens avec beaucoup de problème de salubrité, ..., leur réhabilitation peut jouer un rôle central pour améliorer l'image des quartiers et valoriser le « retour à la ville ».



AGE	≤1918	1919-1945	1946-1960	1961-1970	1971-1980	1981-1990	> 1991	Total
Maisons isolées	93.129	45.867	44.455	58.743	85.849	51.539	73.810	447.392
Maisons jumelées	77.462	88.295	37.271	22.411	24.726	8.873	9.257	228.803
Maisons mitoyennes	138.055	112.439	55.653	24.327	22.146	7.715	6.991	367.326
Flats	27.043	26.869	31.696	37.816	47.445	16.199	35.720	217.788
Total	335.694	233.974	169.075	137.296	175.165	84.326	125.778	1.261.309

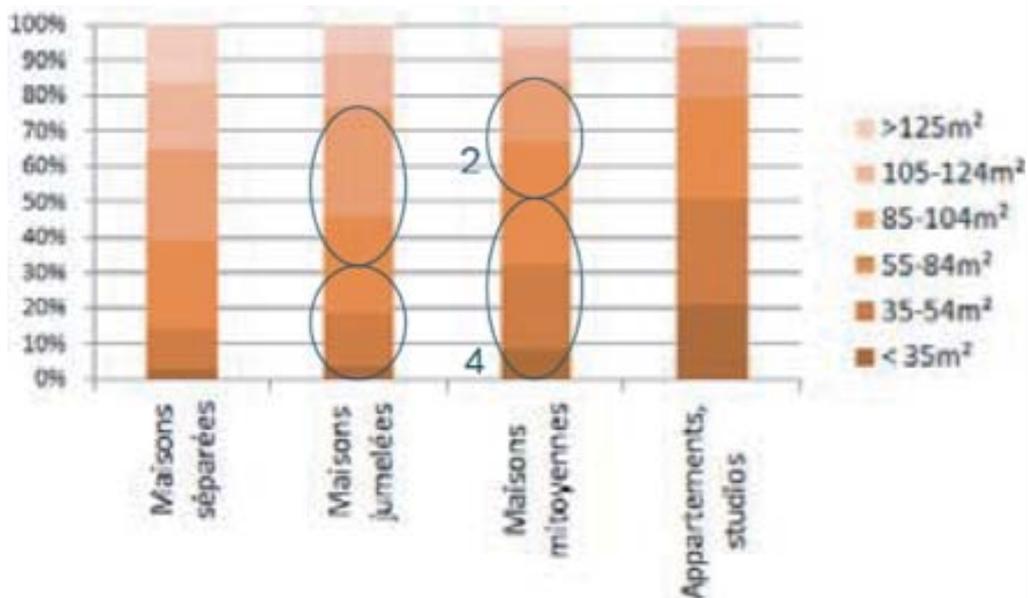


FIGURE Répartition des logements selon leur âge et leur configuration  
 FIGURE Chiffres < Enquête socio-économique 2001 – DGSIE, SPF Economie

FIGURE Taille des logements en fonction de leur configuration  
 FIGURE Chiffres < Enquête socio-économique 2001 – DGSIE, SPF Eco-  
 nomie

### 1. MAISON DE TYPE VERNACULAIRE



Le plus souvent rurale et «4 façades», ancienne (18<sup>e</sup>, 19<sup>e</sup> et début 20<sup>e</sup>), volumétries diverses, grand volume habitable - Matériaux et techniques constructives traditionnels : murs pleins, pouvant être très épais, en pierre ou briques, charpentes en bois, argile, chaux... (ressources locales) --> valeur patrimoniale, héritage culturel à préserver - Gaz naturel généralement non disponible

± 6% des logements construits avant 1991

### 2. MAISON URBAINE MOYENNE, DÉBUT DU 20<sup>e</sup> SIÈCLE



Maison mitoyenne ou semi-mitoyenne, 5 à 6 m de façade, taille moyenne à grande : plafonds hauts, rez + premier + combles, caves (voussettes) – Façades avant : détails, ornements (balcons, pierre...) - Souvent manque de lumière naturelle au rez - A l'arrière : annexes (+ récentes, qualité médiocre) – Matériaux «traditionnels» + industriels - Gaz naturel généralement disponible

± 16% des logements construits avant 1991

### 3. MAISON VILLAGEOISE, ENTRE-DEUX GUERRES



Maison moyenne à grande, rez sur cave (partielle) + un étage + combles, volumétrie simple, allongée, souvent volumes annexe en appentis – Simplicité constructive et matériaux industriels : béton, briques (murs pleins d'un brique 1/2), acier ou bois ... avec peu d'ornementations - Gaz naturel partiellement disponible

± 5% des logements construits avant 1991

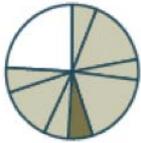
#### 4. MAISON OUVRIÈRE, « MODESTE »



Maison mitoyenne, datant d'avant 1945, très petits volumes, plafonds assez bas, hall d'entrée souvent absent, 2 pièces au rez, 2 pièces au premier étage, petite cave - Simplicité constructive - Souvent en mauvais état, problèmes d'insalubrité fréquents - Gaz naturel généralement disponible (mais chauffage au charbon encore fréquent)

± 18% des logements construits avant 1991

#### 5. « VILLA » DES PREMIERES EXTENSIONS URBAINES



Années 30 et surtout 50-60 - Maisons moyennes à grandes, isolées ou jumelées - Murs creux «1ère génération» (ponts thermiques fréquents) - Souvent assez complexes : diversité de volumétries, jeux de matériaux ... - Chauffage central au mazout fréquent

± 6% des logements construits avant 1991

#### 6. APPARTEMENT DANS UN IMMEUBLE TYPE « ETRIMO »



Années 60 et 70 - Bâtiment avec balcons, ascenseur, toit souvent plat, plusieurs niveaux - Ossature béton, acier, glasal, simple vitrages... - Souvent catastrophiques au niveau de la qualité thermique - Chauffage électrique fréquent - Copropriété

± 6% des logements construits avant 1991

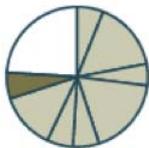
#### 7. MAISON 4 FAÇADES TYPE « LOTISSEMENT »



Années 70 et 80, d'abord en banlieue, puis sur l'ensemble du territoire (urbanisation diffuse)  
- Rez-de-chaussée + 1er étage (souvent partiellement dans la toiture), avec ou sans cave - Matériaux de construction et mise en oeuvre «conventionnels» : briques, béton, murs creux ... - Gaz naturel souvent absent - Peu de problèmes de salubrité

± 13% des logements construits avant 1991

#### 8. APPARTEMENT DANS UN « BÂTIMENT DIVISÉ EN PLUSIEURS UNITÉS DE LOGEMENT »



Différentes configurations et âges de bâtiments - Cette catégorie est importante car ces logements sont le plus souvent loués (parc locatif privé, comblant le déficit en logements sociaux) et concentrent les problèmes de salubrité et de qualité

± 6% des logements construits avant 1991

## Exigences à atteindre en rénovation sur l'isolation thermique

<b>Parois de la surface de déperdition du bâtiment</b>	<b><math>U_{max}</math></b> [W/m <sup>2</sup> K]	<b><math>R_{min}</math></b> [m <sup>2</sup> K/W]
<b>Fenêtres et autres parois translucides</b> - Valeur spécifique pour la partie centrale vitrée de chaque élément - Valeur globale pour l'élément	<b>1.6</b> <b>2.5</b>	
<b>Portes et portes de garage</b>	<b>2.9</b>	
<b>Murs et parois opaques</b> - En contact avec tout environnement à l'exception d'un vide sanitaire d'une cave et du sol - Entre le volume protégé et un vide sanitaire ou une cave - Entre le volume protégé et le sol	<b>0.4*</b>	<b>1*</b> <b>1*</b>
<b>Toitures et plafonds</b>	<b>0.3</b>	
<b>Planchers</b> - Entre le volume protégé et l'air extérieur ou les EANC (Espaces Adjacents Non Chauffés) - Entre le volume protégé et le sol, un vide sanitaire, une cave ...	<b>0.6</b> <b>0.4*</b>	<b>1*</b>
<b>Parois mitoyennes (parois entre 2 volumes protégés ou 2 appartements)</b>	<b>1</b>	

Applicables depuis le 1er mai 2010.

**CWATUPE: articles concernant les «centres anciens protégés»****Art. 393.**

En l'absence de plan particulier d'aménagement, le présent chapitre s'applique aux zones protégées en matière d'urbanisme dont le périmètre, approuvé par l'Exécutif, après avis des conseils communaux intéressés, est délimité conformément aux annexes 1 à 22 – AERW du 9 juillet 1987, art. 1er).

**Art. 394.**

Les largeurs des rues, ruelles et impasses, les dimensions des places et les fronts de bâtisse doivent être maintenus dans leur état de fait actuel.

Toute modification des dimensions de ces espaces ne pourra se faire que sur base d'un plan particulier d'aménagement ou d'un plan d'alignement approuvé.

**Art. 395.**

Façades.

Les façades des immeubles sis à front de rues, ruelles ou impasses doivent être maintenues en harmonie avec la zone à sauvegarder.

a) Largeur des façades.

La largeur des façades ne peut être modifiée que moyennant une décision motivée du collège des bourgmestre et échevins.

b) Hauteur des façades.

Les hauteurs sous corniches et faites doivent être en équilibre avec celles des constructions voisines. Les lucarnes doivent être en relation avec l'architecture de la façade. Ces prescriptions s'appliquent également aux façades des constructions qui sont situées en retrait par rapport à l'alignement des façades voisines.

c) Matériaux des façades.

Les matériaux autorisés seront ceux dont les tonalités s'apparentent à celles des matériaux traditionnels.

d) Pignons, façades latérales et façades arrière.

Les matériaux autorisés pour les murs, pignons, façades latérales et façades arrières devront s'harmoniser avec ceux des façades à rue.

**Art. 396.**

Toitures.

La toiture doit être en harmonie avec le type de toiture propre aux constructions traditionnelles locales.

a) Pentés.

Lors de la restauration, de la construction ou de la reconstruction d'immeubles, les toitures, sauf dérogation accordée par décision motivée du collège, seront en pente continue.

L'inclinaison des toitures sera parallèle à celle des constructions contiguës et normalement à faitage central pour l'habitat en ordre fermé.

Cependant, la toiture à faitage perpendiculaire à l'alignement pourra être autorisée lorsqu'elle concourt à renforcer le rythme des constructions anciennes ou à mettre en valeur une construction monumentale.

Les larges débordements et les accentuations marquées de rives de toiture ne seront admis que s'ils sont compatibles avec le caractère de l'architecture locale; il en



va de même pour les coyaux.

b) Matériaux.

Les matériaux autorisés sont ceux dont l'aspect et la tonalité sobre sont proches de ceux des matériaux de couverture des immeubles anciens.

**Art. 397.**

Zones de cours et jardins.

Le périmètre de la zone de cours et jardins des îlots bâtis sur leur pourtour est délimité par les plans des façades arrières principales des immeubles existants, ou, lorsque la profondeur des bâtiments principaux excède 15 m, par des plans verticaux élevés parallèlement à ceux des façades avant à une distance de 15 m de ceux-ci.

A l'intérieur de la zone de cours et jardins, aucune construction nouvelle ne peut être édifiée.

La restauration des immeubles situés dans la zone de cours et jardins est autorisée. En cas de démolition de ces immeubles ou parties d'immeubles, il pourra être imposé de garnir de plantation l'emplacement ainsi dégagé.

Les constructions en sous-sol ne peuvent s'étendre à une distance supérieure à 18 m mesurée à partir des plans des façades avant.

**Art. 398.**

Traitement du sol.

Les recouvrements de sol en pavés des rues, places, ruelles, impasses doivent être maintenus où ils existent

L'usage de matériaux contemporains est permis à l'occasion d'aménagements de la voirie, pour autant qu'ils contribuent à maintenir ou rétablir le caractère traditionnel du recouvrement du sol.

Il peut être dérogé aux prescriptions de l'alinéa 1er, lorsqu'il s'agit de voies principalement utilisées par la circulation de transit et qu'il n'existe pas d'itinéraire adéquat de contournement de la zone.

**Art. 399.**

Conduites, câbles et canalisations.

La construction de galeries techniques regroupant les principales canalisations peut être prescrite lors de travaux de restructuration de quartiers.

Les câbles électriques, téléphoniques et de télédistribution seront enterrés. En cas d'impossibilité, ils seront placés sous corniche ou sur bandeau, de façon à les rendre les plus discrets possibles.

**Art. 400.**

Mobilier urbain.

Le collègue doit justifier tout projet d'installation de mobilier urbain tel que: lampadaire, fontaine, abri banc, poubelle, plaque d'indication de rue, etc. par une étude portant sur les dimensions, le graphisme, les couleurs et les matériaux proposés.

Tableau D1 – Coefficient de transmission thermique  $U_{w,T}$  d'un ensemble de fenêtres vitrées, non équipées de panneaux de remplissage et/ou de grilles<sup>5</sup> (calcul simplifié) – Intercalaires normaux (voir G.2 en annexe G)

Valeurs Ug vitrage (W/m²K)	Valeurs Uf (W/m²K) des profilés																											
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,9	7,0				
5,7	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,12	5,16	5,20	5,24	5,28	5,32	5,36	5,40	5,44	5,48	5,52	5,56	5,76	6,09				
3,3	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,30	3,34	3,38	3,42	3,46	3,51	3,57	3,63	3,69	3,75	3,81	3,87	3,93	3,99	4,14	4,47				
3,2	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,30	3,34	3,38	3,44	3,50	3,56	3,62	3,68	3,74	3,80	3,86	3,92	4,07	4,40				
3,1	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,22	3,26	3,31	3,37	3,43	3,49	3,55	3,61	3,67	3,73	3,79	3,85	4,00	4,33				
3,0	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,10	3,14	3,18	3,24	3,30	3,36	3,42	3,48	3,54	3,60	3,66	3,72	3,78	3,93	4,26				
2,9	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,02	3,06	3,11	3,17	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	3,65	3,71	3,86	4,19				
2,8	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,90	2,94	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,28	3,34	3,40	3,46	3,52	3,58	3,64	3,79	4,12				
2,7	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,82	2,86	2,91	2,97	3,03	3,09	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,72	4,05				
2,6	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,70	2,74	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,08	3,14	3,20	3,26	3,32	3,38	3,44	3,50	3,65	3,98				
2,5	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,62	2,66	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,37	3,43	3,58	3,91				
2,4	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,50	2,54	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,18	3,24	3,30	3,36	3,51	3,84				
2,3	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,42	2,46	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,29	3,44	3,77				
2,2	2,10	2,14	2,18	2,22	2,26	2,30	2,34	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,37	3,70				
2,0	2,09	2,13	2,17	2,21	2,25	2,29	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,32	3,65				
1,9	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,21	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,25	3,58				
1,8	1,93	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,03	3,09	3,18	3,51				
1,7	1,85	1,89	1,93	1,97	2,01	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,11	3,44				
1,6	1,77	1,81	1,85	1,89	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,04	3,37				
1,5	1,69	1,73	1,77	1,81	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,97	3,30				
1,4	1,61	1,65	1,69	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	3,00	3,23				
1,3	1,53	1,57	1,61	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,83	3,16				
1,2	1,45	1,49	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,76	3,09				
1,1	1,37	1,41	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,69	3,02				
1	1,29	1,33	1,39	1,45	1,51	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,62	2,95				
0,9	1,21	1,26	1,32	1,38	1,44	1,50	1,56	1,62	1,68	1,74	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,55	2,88				
0,8	1,13	1,19	1,25	1,31	1,37	1,43	1,49	1,55	1,61	1,67	1,73	1,79	1,85	1,91	1,97	2,03	2,09	2,15	2,21	2,27	2,33	2,39	2,48	2,81				
0,7	1,06	1,12	1,18	1,24	1,30	1,36	1,42	1,48	1,54	1,60	1,66	1,72	1,78	1,84	1,90	1,96	2,02	2,08	2,14	2,20	2,26	2,32	2,41	2,74				
0,6	0,99	1,05	1,11	1,17	1,23	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53	1,59	1,65	1,71	1,77	1,83	1,89	1,95	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,34	2,67				
0,5	0,92	0,98	1,04	1,10	1,16	1,22	1,28	1,34	1,40	1,46	1,52	1,58	1,64	1,70	1,76	1,82	1,88	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,27	2,60				

<sup>5</sup> Le tableau peut s'utiliser pour un ensemble de fenêtres à panneau de remplissage et/ou grille de ventilation, à condition que  $U_p \leq U_g$  et/ou  $U_i \leq U_g$ . Si la grille de ventilation est affectée d'un  $U_i > U_g$  (le plus courant), chaque valeur tabulée doit être augmentée du terme  $\Sigma (\Psi_r \cdot l_r) / \Sigma A_{wd}$ , où  $\Psi_r = 0,5$  W/mK et si la hauteur de grille  $H_r \leq 0,08$  m.

Tableau D2 – Coefficient de transmission thermique  $U_{w,T}$  d'un ensemble de fenêtres vitrées, non équipées de panneaux de remplissage et/ou de grilles<sup>6</sup> (calcul simplifié) – Intercalaires à performances thermiques améliorées (voir G.2 en annexe G)

Valeurs Ug vitrage (W/m²K)	Valeurs Uf (W/m²K) des profilés																											
	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,9	7,0				
5,7	4,72	4,76	4,80	4,84	4,88	4,92	4,96	5,00	5,04	5,08	5,12	5,16	5,20	5,24	5,28	5,32	5,36	5,40	5,44	5,48	5,52	5,56	5,76	6,09				
3,3	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,31	3,35	3,39	3,43	3,48	3,54	3,60	3,66	3,72	3,78	3,84	3,90	3,96	4,11	4,44				
3,2	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,27	3,31	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	3,65	3,71	3,77	3,83	3,89	4,04	4,37				
3,1	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,19	3,23	3,28	3,34	3,40	3,46	3,52	3,58	3,64	3,70	3,76	3,82	3,97	4,30				
3,0	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,07	3,11	3,15	3,21	3,27	3,33	3,39	3,45	3,51	3,57	3,63	3,69	3,75	3,90	4,23				
2,9	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	2,99	3,03	3,08	3,14	3,20	3,26	3,32	3,38	3,44	3,50	3,56	3,62	3,68	3,83	4,16				
2,8	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,87	2,91	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,25	3,31	3,37	3,43	3,49	3,55	3,61	3,76	4,09				
2,7	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,79	2,83	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,18	3,24	3,30	3,36	3,42	3,48	3,54	3,69	4,02				
2,6	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,67	2,71	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,17	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,62	3,95				
2,5	2,31	2,35	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,59	2,63	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,10	3,16	3,22	3,28	3,34	3,40	3,55	3,88				
2,4	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	2,43	2,47	2,51	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,03	3,09	3,15	3,21	3,27	3,33	3,48	3,81				
2,3	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	2,43	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	2,96	3,02	3,08	3,14	3,20	3,26	3,41	3,74				
2,2	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	2,27	2,31	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	2,89	2,95	3,01	3,07	3,13	3,19	3,34	3,67				
2,1	1,99	2,03	2,07	2,11	2,15	2,19	2,23	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,82	2,88	2,94	3,00	3,06	3,12	3,27	3,60				
2,0	1,97	2,01	2,05	2,09	2,13	2,17	2,21	2,27	2,33	2,39	2,45	2,51	2,57	2,63	2,69	2,75	2,81	2,87	2,93	2,99	3,05	3,11	3,29	3,62				
1,9	1,89	1,93	1,97	2,01	2,05	2,09	2,14	2,20	2,26	2,32	2,38	2,44	2,50	2,56	2,62	2,68	2,74	2,80	2,86	2,92	2,98	3,04	3,22	3,55				
1,8	1,81	1,85	1,89	1,93	1,97	2,01	2,07	2,13	2,19	2,25	2,31	2,37	2,43	2,49	2,55	2,61	2,67	2,73	2,79	2,85	2,91	2,97	3,15	3,48				
1,7	1,73	1,77	1,81	1,85	1,89	1,94	2,00	2,06	2,12	2,18	2,24	2,30	2,36	2,42	2,48	2,54	2,60	2,66	2,72	2,78	2,84	2,90	3,08	3,41				
1,6	1,65	1,69	1,73	1,77	1,81	1,87	1,93	1,99	2,05	2,11	2,17	2,23	2,29	2,35	2,41	2,47	2,53	2,59	2,65	2,71	2,77	2,83	3,01	3,34				
1,5	1,57	1,61	1,65	1,69	1,74	1,80	1,86	1,92	1,98	2,04	2,10	2,16	2,22	2,28	2,34	2,40	2,46	2,52	2,58	2,64	2,70	2,76	2,94	3,27				
1,4	1,49	1,53	1,57	1,61	1,67	1,73	1,79																					

# Tableaux comparatifs des matériaux

MATÉRIAUX	POIDS VOLUM.	ORIGINE	FABRICATION	ENERG. GRÈSE		ECONOMIS		WCC (euros)		NORME NIBE	UTILISATION ENTRETIEN	DURÉE DE VIE	RECYCLAGE ELIMINATION
				GJ/m³	GJ/t	par/m²	par/m²	par/tonne	par/tonne				
Structure													
Béton maigre	0,35 t/m³	locale	modérément énergivore polluant	2,9	8,3	/	/	/	/	/	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Béton léger	0,65 t/m³	locale	modérément énergivore polluant	1,17	1,8	/	/	/	/	/	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Béton armé	2,4 t/m³	européenne	modérément énergivore polluant	5,14	2,14	0,74	7,44	3,10	3,10	154	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Béton non armé	2,2 t/m³	locale	modérément énergivore polluant	2,88	1,31	0,69	6,87	3,12		170	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Béton armé préfabriqué	2 t/m³	européenne	modérément énergivore polluant	2-16	1-8	1,3	6,5	3,10	68	341	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Béton non armé préfabriqué	1,8 t/m³	locale	modérément énergivore polluant	1,8 - 14,4	1-8	1,22	6,1	3,05	68	341	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Chermet	1,9 t/m³	locale et/ou européenne	énergivore très polluant	9,5 - 15,2	10	/	/	/	/	/	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable selon traitement Utilisation en remblai
Bois de structure - massif	0,7 t/m³	locale et/ou européenne	peu à modérément énergivore peu polluant	0,35 - 1,40	0,5 - 2	0,1	40,94	58,48	55	21.698	durable si protégé pas d'entretien	40	Incineration Valorisation thermique
Bois de structure - lamelle-collé	0,7 t/m³	européenne	énergivore polluant selon le mode de fabrication (colle, adhésif,...)	7-14	10,2	/	/	/	/	/	durable si protégé pas d'entretien	40	Valorisation thermique
Fer - armatures	7,9 t/m³	européenne et/ou mondiale	énergivore très polluant	10,3	13	/	/	/	/	/	très durable pas d'entretien	50	Recyclable matière première secondaire
Acier "à l'ère fusion"	7,8 t/m³	européenne et/ou mondiale	très énergivore traitements de surface très polluants	250 - 780	32 - 100	/	/	11,00	/	2.196	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable matière première secondaire
Acier "2ème fusion"	7,8 t/m³	européenne et/ou mondiale	modérément énergivore traitements de surface très polluants	78	10	/	/	/	/	/	très durable pas d'entretien	> 50	Recyclable matière première secondaire
Maçonnerie													
Blocs de béton plein	2 t/m³	locale	modérément énergivore peu polluant	< 10	< 5	0,7	4,86	2,16	81	579	durable pas d'entretien	50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Blocs de béton creux	1,8 t/m³	locale	modérément énergivore peu polluant	< 10	< 5,66	0,39	2,77	4,28	85	609	durable pas d'entretien	50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Blocs de béton cellulaire	0,65 t/m³	européenne	modérément énergivore peu polluant	2,6	4	/	/	/	/	/	durable pas d'entretien	40	Recyclable par concassage Matière première secondaire
Blocs de terre cuite plein	1,5 t/m³	locale	modérément énergivore peu polluant	4	2,5	0,69	6,91	4,31	152	1522	durable pas d'entretien	50	Matière première secondaire
Blocs d'argile expansée			polluant			/	/	/	/	/	durable pas d'entretien	50	Recyclable par concassage
Blocs silico-calcaire	1,4 t/m³	locale	peu à modérément énergivore peu polluant	1,12 - 2,10	0,8 - 1,5	/	/	/	/	/	durable pas d'entretien	50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Blocs de plâtre	0,07 t/m³	locale	modérément énergivore polluant	< 0,7	< 10						durable pas d'entretien	40	Mise en décharge classe 3
Perois de carton plâtre	0,8 t/m³	locale et/ou européenne	modérément énergivore polluant	6 - 8	8 - 10	0,2					durable si protégé	30	Mise en décharge classe 3

MATERIAUX	POIDS VOLUM.	ORIGINE	FABRICATION	ENERG. GRESE		ECONOMIS		WCI (cure)	NORME	UTILISATION ENTRETIEN	DUREE DE VIE	RECYCLAGE ELIMINATION	
				GWh/m <sup>3</sup>	GWh	par/m <sup>2</sup>	par/annee						par m <sup>2</sup>
<b>Couverture de toiture</b>													
Tuile de terre cuite	1,60/m <sup>2</sup>	locale	moderement energivore peu polluant	4	2,5				182	durable pas dentretien	45	Recyclable par concassage Matiere premiere secondaire	
Ardoise naturelle	2,70/m <sup>2</sup>	locale et/ou europeenne	moderement energivore peu polluant						164	très durable pas dentretien	> 50	Recyclable par concassage Matiere premiere secondaire Elimination industrielle	
Ardoise artificielle - fibro-ciment	1,40/m <sup>2</sup>		energivore						110	durable pas dentretien	45		
Plaquas de zinc "1ere lison"	7,30/m <sup>2</sup>	europeenne et/ou mondiale	très energivore très polluant	620	95				100	durable pas dentretien	45	Recyclable	
Plaquas de cuivre "1ere lison"	8,30/m <sup>2</sup>	europeenne et/ou mondiale	très energivore peu polluant	790	95				110	pas dentretien durable	45	Matiere premiere secondaire Recyclable	
Plaquas d'aluminium "1ere lison"	2,70/m <sup>2</sup>	europeenne et/ou mondiale	très energivore très polluant	535	199				86	durable pas dentretien	45	Recyclable	
Plaquas d'aluminium "2eme lison"	2,70/m <sup>2</sup>	locale et/ou europeenne	moderement energivore polluant	40	14,8				/	durable pas dentretien	45	Matiere premiere secondaire Recyclable	
Bitume	10m <sup>3</sup>	mondiale	energivore très polluant	44	44				84	pas dentretien peu durable	15	Incrustation Valorisation thermique	
Gravier roulé (estage)	20m <sup>3</sup>	locale et/ou europeenne	moderement energivore peu polluant	4	2				/	durable pas dentretien	50	Recuperation	
Dalle de ciment (estage)	1,90/m <sup>2</sup>	locale et/ou europeenne	moderement energivore polluant	2,3	1,2				/	durable pas dentretien	50	Recyclable par concassage	
<b>Isolants</b>													
Fibres de cellulose	0,030/m <sup>2</sup>	europeenne	moderement energivore peu polluant	1,26	4,2	0,15	2,58	86	314	10,466	230	Recuperation ou recyclable	
lège (panneaux)	0,10/m <sup>2</sup>	europeenne	peu energivore peu polluant			0,21	3,49	34,9	409	4,090	/	Matiere premiere secondaire Recuperation ou recyclable	
laine de roche	0,25/m <sup>2</sup>	europeenne	energivore peu polluant	0,33	12,3	0,17	2,88	14,4	888	4,440	158	Recyclable	
laine de verre	0,15/m <sup>2</sup>	europeenne	energivore peu polluant	6	40	0,02	0,32	12,8	15	10,080	154	Matiere premiere secondaire Recyclable	
Polyuréthane	0,035/m <sup>2</sup>	mondiale	très energivore peu polluant	8	100	0,08	1,43	40,86	25	423	13,219	78	Matiere premiere secondaire
Polyuréthane expansé	0,02/m <sup>2</sup>	mondiale	très energivore peu polluant	2,4	120	0,04	0,75	37,5	31	620	26,000	94	Incrustation
Polyuréthane extrudé	0,03/m <sup>2</sup>	mondiale	très energivore peu polluant	3	100	0,36	6	200	22	369	10,543	94	Incrustation
Verre cellulaire	0,15/m <sup>2</sup>	locale et/ou europeenne	très energivore polluant	20,8 à 40	130 à 200	0,11	1,91	12,66	39	647	6,162	146	Recyclable
<b>Etanchéité</b>													
Cheritage		locale	moderement energivore polluant	0,8 à 10		/	/	/	/	/	/	/	Incrustation Valorisation thermique
Emulsion bitumineuse	/	mondiale	energivore polluant	11 à 20		/	/	/	/	/	/	84	Recyclable
Membrane PE	/		très energivore polluant	40 à 80	100	/	/	/	/	/	/	78	Matiere premiere secondaire
Membrane PVC	/	mondiale	très energivore polluant	40 à 80	70	/	/	/	/	/	/	70	Incrustation Valorisation thermique
Feuille EPDM	/		très energivore polluant	40 à 80		/	/	/	/	/	/	128	Incrustation
Feuille HDPE	/		très energivore polluant	40 à 80	100	/	/	/	/	/	/	84	Incrustation Valorisation thermique
Feuille APP	/					/	/	/	/	/	/	84	

MATERIAUX	POIDS VOLUM.	ORIGINE	FABRICATION	ENERG. GRISE		ECONOMIS			WCC (euros)		NORME NIBE	UTILISATION ENTRETIEN	DUREE DE VIE	RECYCLAGE ELIMINATION	
				GWh/m <sup>3</sup>	GJ/m <sup>3</sup>	par/m <sup>2</sup>	par/m <sup>2</sup>	par/tonne	par/m <sup>2</sup>	par/tonne					
<b>Parement de façade</b>															
Briques de parement	180m <sup>3</sup>	locale et/ou européenne	modérément énergivore	4,8	3	0,89	6,91	4,31	152	1.522	961	182	durable	45	Recupération Recyclable par concassage
Enduit au ciment	180m <sup>3</sup>	locale et/ou européenne	modérément énergivore polluant	3,8	2							160	durable	35	
Enduit à la chaux												171	durable	25	
Pierre naturelle - pierre bleue	2,70m <sup>3</sup>	locale	peu énergivore peu polluant	2,13	0,79	1,49	49,7	18,41	266	8.880	329		très durable	> 50	Recyclable et récupération Concassage ou matière prem.
Pierre naturelle - pierre calcaie	2,40m <sup>3</sup>	européenne	modérément énergivore			0,15	4,9	2,04	931	31.045	12.935	148	très durable	> 50	Recyclable et récupération Concassage ou matière prem.
Pierre naturelle - granite	2,80m <sup>3</sup>	européenne	modérément énergivore peu polluant	1,9	6,8	0,18	5,9	2,11	959	31.988	11.417	148	très durable	> 50	Recyclable et récupération Concassage ou matière prem.
Pierre reconstruite	20m <sup>3</sup>	européenne	peu énergivore peu polluant			0,1	5,95	2,98	117	3.907	1.954		très durable	> 50	Recupération
Bois de bardage	0,60m <sup>3</sup>	locale et/ou européenne	modérément énergivore peu polluant	1,2	2	0,07	4,57	6,52	107	7.104	10.149	194	durable	30 à 40	Recyclable - Matière première recyclable selon traitement Valorisation thermique
Panneaux multiplex	0,60m <sup>3</sup>	européenne	modérément énergivore polluant	4,8	8	0,1	6,83	9,75	68	4.547	7.578		durable	30	Incrustation Valorisation thermique
Plaque de fibrociment	1,40m <sup>3</sup>	européenne	modérément énergivore polluant	13,3	9,5							110	durable	45	Valorisation thermique Elimination problématique
Bardage en aluminium	2,70m <sup>3</sup>	européenne et/ou mondiale	très énergivore polluant	535	199							86	durable	50	Recupération
Briques de verre	2,50m <sup>3</sup>	mondiale	modérément énergivore	18	7,2	0,6	7,46	10,42	852	10.656	14.883	/	durable	45	Recyclable - Matière première
<b>Egouttage</b>															
Gas	20m <sup>3</sup>		modérément énergivore	12,6	6,3	/	/	/	/	/	/	162	durable	50	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
PVC	1,30m <sup>3</sup>	mondiale	très énergivore très polluant	90	70	/	/	/	/	/	/	96	durable	35	Recyclable mais pas de filières Incrustation Valorisation thermique
PE	0,950m <sup>3</sup>		très énergivore	98	103	/	/	/	/	/	/	138	durable	30	Recyclable
Zinc-titane "1ère fusion"	70m <sup>3</sup>	européenne et/ou mondiale	très énergivore polluant	630	90							74	durable	50	Recupération
Cuivre "1ère fusion"	8,30m <sup>3</sup>	européenne et/ou mondiale	très énergivore polluant	630	100							138	durable	40	Recyclable - Matière première
Aluminium "1ère fusion"	2,70m <sup>3</sup>	européenne et/ou mondiale	très énergivore polluant	540	201							84	durable	50	Recupération
Aluminium "2ème fusion"	2,70m <sup>3</sup>	locale et/ou européenne	modérément énergivore polluant	47	17,3							/	durable	50	Recyclable - Matière première
Fonte "1ère fusion"	7,50m <sup>3</sup>	européenne	énergivore polluant	160 à 320	21 à 43							98	durable	50	Recupération
Fibrociment	1,40m <sup>3</sup>		modérément énergivore polluant	13,3	9,5	/	/	/	/	/	/	/	durable	45	Recyclable - Matière première Elimination problématique
Béton polyester	0,650m <sup>3</sup>		énergivore polluant			/	/	/	/	/	/	/	durable	50	Elimination problématique

MATÉRIEL	POIDS VOLUM.	ORIGINE	FABRICATION	ÉNERG. GRISE		ÉCOPOINTS			WC3 (ures)		NORME NIBE	UTILISATION ENTRETIEN	DURÉE DE VIE	RECYCLAGE ÉLIMINATION
				GWh/m³	GJ/m³	par/m²	par/m²	par/m²	par/m²	par/tonne				
<b>Vitrage</b>														
Vitrage isolant		européenne et/ou mondiale	énergivore polluant	/	/	/	/	/	/	/	/	30 à 40	durable peu dentelien	Mise en décharge matériaux inertes
Vitrage trempé		européenne et/ou mondiale	énergivore polluant	/	/	/	/	/	/	/	/	30 à 40	durable peu dentelien	Mise en décharge matériaux inertes
Vitrage feuilleté		européenne et/ou mondiale	énergivore polluant	/	/	/	/	/	/	/	/	30 à 40	durable peu dentelien	Mise en décharge matériaux inertes
Vitrage RF		européenne et/ou mondiale	énergivore polluant	/	/	/	/	/	/	/	/	30 à 40	durable peu dentelien	Mise en décharge matériaux inertes
<b>Menuiserie</b>														
Châssis bois	0,7/m²	européenne et/ou mondiale	modérément énergivore peu polluant	2,17	3,1	1,99	15,9	22,71	1,322,00		172	50	durable si protégé entielien modéré	Recyclable selon traitement Valorisation thermique
Châssis boismétal		mondiale				3,58	35,8	/	1,200,00		/	> 50	très durable peu dentelien	
Châssis aluminium	2,7/m²	européenne et/ou mondiale	très énergivore polluant	99,0	218	2,98	28,8	11	1,017,00		138	50	durable pas dentelien	Recupération Recyclable - Matière première
Châssis aluminium recyclé	2,7/m²	européenne	énergivore polluant	92,6	34,3	/	/	/	/		/	50	durable pas dentelien	Recyclable - Matière première
Châssis PVC	1,30/m²	mondiale	très énergivore très polluant	90	70	2,31	23,1	17,7	950,00		92	35	durable pas dentelien	Recyclable mais pas de filières incineration Valorisation thermique
<b>Revêtements de mur</b>														
Enduit au plâtre	1,30/m²	locale	peu énergivore	0,75	0,58						166	25 à 40	durable peu dentelien	/
Enduit au ciment	1,6 t/m³	locale									160	25 à 40	durable peu dentelien	/
Peintures minérales	/		modérément énergivore peu polluant	/	5 à 10							15	entielien régulier	Mise en décharge pour déchets dangereux
Peintures acryliques	/		énergivore	/	35 à 40							15	entielien régulier	Mise en décharge pour déchets dangereux
Peintures synthétiques	/		énergivore à très énergivore polluant	/	15 à 90						222	15	entielien modérés	Mise en décharge pour déchets dangereux
Peintures à base d'huile de lin	/			/							210	15	entielien régulier peu durable	incineration
Papier peint	/		énergivore	/	25							15	peu dentelien	Valorisation thermique



MATERIAUX	POIDS VOLUM.	ORIGINE	FABRICATION	ENERG. GRISE		ECONOMIS		WCD (euros)		NORME NIBE	UTILISATION ENTRETEN	DUREE DE VIE	RECYCLAGE ELIMINATION
				GJ/m³	€/m³	par/m²	par/tonne	par/m²	par/tonne				
Chape (10cm)	0,9 t/m³	locale	moderement energivore peu polluant	2,2	2	0,24	4,70	5,22	9	177	100	197	Recyclable par concassage Utilisation en remblai
Sous-plancher - panneau OSB			energivore polluant		24	0,21		/	40	/	/	> 25	Incineration Valorisation thermique
Sous-plancher - panneau agglom.			moderement energivore polluant		8	0,36		/	15	/	/	> 25	Incineration Valorisation thermique
Léger (dalles)		européenne	moderement energivore peu polluant	/	/	0,29	60,00	/	140	29,256	/	252	Recyclable matière première secondaire
lindolun (dalles et kes)	1,2 t/m³	européenne	très energivore peu polluant	91,7	110	0,28	89,00	74,00	166	51,906	43,255	> 25	Incineration Compostage
Caoutchouc naturel (dalles)	1,50t/m³	mondiale	très energivore peu polluant	45,3	69	4,66	1,839,00	1,225,00	313	123,383	82,255	> 25	Incineration pas de valorisation
Caoutchouc artificiel (dalles)	1,30t/m³	mondiale	très energivore très polluant	64,6	110	/	/	/	/	/	/	> 25	Incineration Valorisation thermique?
Vivyle (dalles et kes)	1,30t/m³	européenne	très energivore très polluant	104	80	1,01	402,00	306,00	88	34,809	26,776	88	Incineration Valorisation thermique?
Tapis-plein en laine		européenne	très energivore polluant	/	105	1,45	290,00	/	341	68,176	/	10	Incineration Valorisation thermique?
Tapis-plein en mat synthétiques		européennes et/ou mondiale	très energivore polluant	/	148	0,39	78,00	/	197	39,410	/	10	Incineration Valorisation thermique?
Tapis-plein mixte		européennes et/ou mondiale	très energivore polluant	/	130	0,38	77,00	/	296	59,267	/	10	Incineration Valorisation thermique?
Plancher en bois plein - chêne	0,60t/m³	locale et/ou européenne	moderement energivore peu polluant	1,2	2	0,79	31,45	52,42	315	12,587	20,978	224	Recyclation Recyclable selon traitement.
Plancher en bois plein - hêtre	0,60t/m³	mondiale	moderement energivore polluant	1,2	2	0,39	15,99	28,98	320	12,817	21,362	> 50	Recyclation Recyclable selon traitement
Plancher stratifié - chêne		locale et/ou européenne	energivore polluant		25	0,88	35,22	/	315	12,587	/	10 à 20	Incineration Valorisation thermique
Plancher stratifié - hêtre		mondiale	energivore polluant		25	0,44	17,46	/	320	12,817	/	10 à 20	Incineration Valorisation thermique
Céramique (1cm)	2 t/m³	européenne	moderement energivore peu polluant	5	2,5	0,31	58,42	29,21	163	13,561	6,781	180	Mise en décharge pour matériau inertes
Pierre reconstituée	20t/m³	européenne	peu energivore peu polluant			/	/	/	/	/	/	> 50	Recyclation Recyclable - Matière première
Pierre naturelle - matrice	2,7 t/m³	européenne	moderement energivore peu polluant	18,36	6,8	0,72	36,18	13,40	282	14,091	5,219	196	Recyclation matière première secondaire
Pierre naturelle - pierre bleue	2,7 t/m³	locale	peu energivore peu polluant	2,13	0,79	0,90	29,78	11,03	75	3,750	1,389	196	Recyclation matière première secondaire
Pierre naturelle - granite	2,8 t/m³	européenne	moderement energivore peu polluant	19	6,8	0,07	3,73	1,33	425	21,250	7,589	196	Recyclation matière première secondaire

## Calcul du prix des variantes

SURFACES	Toits		Châssis		Murs			Dalles	Annexes	Nombre de bâtiment			
	Combles	Toitures	Combles	Toitures	Murs total	Murs rue	Murs int. /lot			Dalles	Annexes	Démolition	VMR
MAISONS	3340	3820	2230		8910	4733	4177	3340	1111		57		
IMMEUBLE		234		302.6		1380		234	1		1		
PRIX AU M²	Toitures		Châssis		Murs			Dalle	Annexes	PRIX / bâtiment			
	Combles	Toiture 1	Toiture 2	ULTRA	ONE	Démontage	Murs iso ext			Murs iso int	Démolition	VMR	DF
MAISONS	59€	97€	172€	400€	450€	30€	109€	81€	46€	1.000€	2.000€	2.000€	7.000€
IMMEUBLE		90€		400€	450€		72€	43€			10.000€		60.000€
MAISONS	ISO C	ISO TI	ISO TN	ULTRA		ISO EI	ISO II	ISO V	Annexe	Démolition annexes	VMR	DF	PRIX TOTAL
	VARIANTE I			958.900€		723.492€	153.640€	114.000€		114.000€	2.000€		2.262.428€
1 MAISON	3.481€			16.823€		12.693€	2.695€	2.000€		2.000€			39.692€
VARIANTE II			656.276€	958.900€	839.673€	153.640€	114.000€	114.000€		114.000€	2.000€		2.836.429€
1 MAISON			11.514€	16.823€	14.730€	2.695€	2.000€	2.000€		2.000€			49.762€
VARIANTE III			369.776€	958.900€	839.613€	153.640€	1.111.000€	114.000€		114.000€	2.000€		3.660.929€
1 MAISON			6.487€	16.823€	14.730€	2.695€	19.491€	2.000€		2.000€			64.227€
VARIANTE IV	198.396€			958.900€	723.492€	153.640€	1.111.000€	114.000€		114.000€	2.000€		3.658.428€
1 MAISON	3.481€			16.823€	12.693€	2.695€	19.491€	2.000€		2.000€			64.183€
IMMEUBLE	ISO TP	ULTRA		ISO E'	ISO D	VMR	DF	PRIX TOTAL					
VARIANTE I	21.060€				10.062€	10.000€		41.122€					
VARIANTE II	21.060€			99.360€	10.062€	10.000€		140.482€					
VARIANTE III	21.060€			99.360€	10.062€			190.482€					
VARIANTE IV	21.060€		130.119€	99.360€	10.062€		60.000€	320.600€					

## Détail du calcul des panneaux solaires thermiques

### Donnees meteo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° exterieure	-0,1	0,3	3,4	5,6	10	12,9	15,1	15,2	12,3	8,2	3,6	1,2
T° eau froide	6,6	6,8	8,35	9,46	11,65	13,11	14,21	14,25	12,8	10,75	8,46	7,25

T° eau froide : Methode ESM2 +3.0°C

### Installation

#### Capteurs

#### Stockage

Surface	406 m <sup>2</sup>	Situation	Interieur (18 °C)
ECOSOL 2.32 ESE S.A. (175 x 2,32 m <sup>2</sup> )		Temperature ECS	60 °C
Inclinaison	30 °/Horiz	Volume de stockage	10000 Litres
Orientation	26°/Sud	Cste de refroidissement	0,0497Wh/jour.l. °C
Coefficient B	0,81	Type d'installation	Thermosiphon, echangeur noye
Coefficient K	4,24W/m <sup>2</sup> .°C		

	Irradiation capteurs (Wh/m <sup>2</sup> .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	858	19246	4467	144,1	23,2	10000
Fevrier	1892	17319	7992	285,4	46,1	10000
Mars	2811	18616	12755	411,4	68,5	10000
Avril	3933	17628	15030	501,0	85,3	10000
Mai	4655	17426	15948	514,5	91,5	10000
Juin	4954	16355	15233	507,8	93,1	10000
Juillet	4956	16504	15436	498,0	93,5	10000
Aout	4459	16489	15196	490,2	92,2	10000
Septembre	3737	16463	14075	469,2	85,5	10000
Octobre	2219	17751	10592	341,7	59,7	10000
Novembre	1091	17977	5495	183,2	30,6	10000
Decembre	752	19012	3907	126,0	20,5	10000

Taux couverture solaire	64,6	%	Apport solaire annuel	136126	kWh/an
Besoin annuel	210785	kWh/an	Productivite annuelle	335	kWh/m <sup>2</sup> .an

Résultat obtenu grâce au logiciel de calcul fournit par [www.tecsol.fr](http://www.tecsol.fr).  
Lieu de la simulation: Saint Hubert (l'autre choix proposé étant Ostende)

## Rénovation d'une maison de maître à Liège



### ECO'HOM LIEGE

LIEU : Liège

TYPOLOGIE : Maison de maître divisée

DATE DE CONSTRUCTION : 1905

DATE DE RENOVATION : 2005 - ...

SURFACE CHAUFFEE : 297 m<sup>2</sup>

BESOIN DE CHAUFFAGE : 40 - 60 kwh/m<sup>2</sup>.an  
(voir consommations)

MAÎTRE D'OUVRAGE : Asbl Eco'Hom

ARCHITECTE : Yves Piron, Asbl Eco'Hom

BUREAU D'ETUDES : EcoRce

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 CONTEXTE

En 2005, Bernadette Leemans (éco-conseillère) et Yves Piron (architecte) décident de créer une asbl, baptisée Eco'Hom, afin de promouvoir l'éco-rénovation du patrimoine urbain ainsi que la mobilité douce. En parallèle, ils se lancent dans la rénovation d'un grand immeuble situé dans le quartier Saint-Léonard, à Liège, dans le but d'en faire leur bâtiment pilote, un lieu didactique de sensibilisation aux techniques de rénovation durable.

Le quartier Saint-Léonard est intégré dans un projet de rénovation urbaine depuis déjà plus de dix ans. Au début de cette année 2009, il a également été choisi par la Ville de Liège pour participer au projet européen SUN (Sustainable Urban Neighbourhoods) qui vise à améliorer la qualité de vie et la durabilité de 5 quartiers, situés dans le réseau de villes de l'Eurégio Meuse-Rhin. La Ville de Liège et l'asbl Eco'Hom sont les partenaires privilégiés de ce projet pour le quartier Saint-Léonard.

Le bâtiment rénové par l'asbl Eco'Hom consiste en une maison bourgeoise datant du début du XX<sup>e</sup> siècle. Avant la rénovation, celle-ci était occupée par deux logements. La partie située au-dessus du porche et l'annexe semblent avoir été construite par après. La façade à rue est classée ; les techniques utilisées au niveau de l'isolation du bâtiment sont choisies en conséquence.



Le bâtiment pilote de l'asbl Eco'Hom s'inscrit dans le projet de rénovation urbaine du quartier Saint-Léonard à Liège.



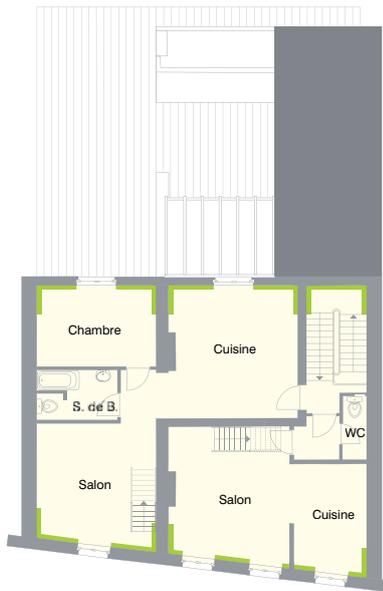
Façade avant et annexe avant rénovation.





## 1.2 PROGRAMME

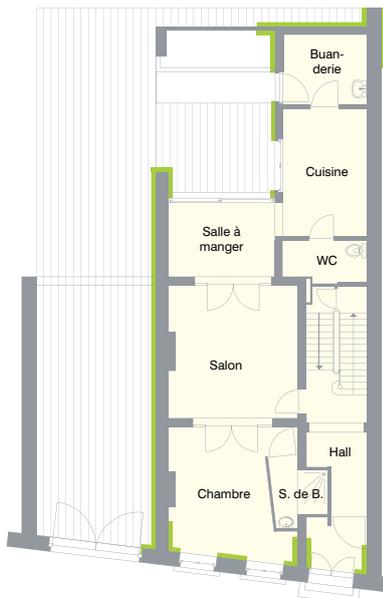
Le bâtiment compte aujourd'hui quatre logements et le bureau de l'association Eco'Hom. Situés dans un quartier d'une grande diversité culturelle et sociale, les propriétaires ont souhaité également proposer des logements favorisant la mixité. L'appartement au rez-de-chaussée est entièrement aménagé pour des personnes à mobilité réduite. A l'entresol, l'asbl Eco'Hom a installé ses bureaux. Au premier étage, se trouve un logement pour étudiants. Le deuxième étage et ses mezzanines sont occupés par un studio et un appartement deux chambres.



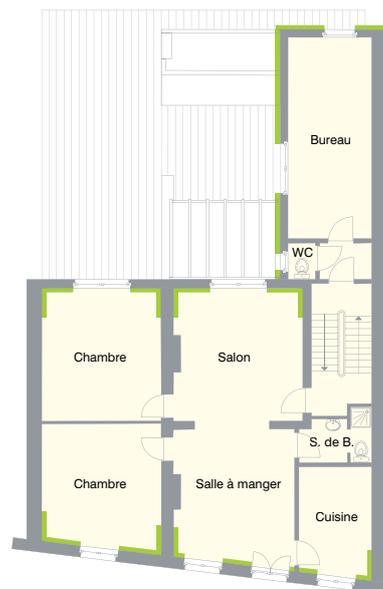
Plan deuxième étage



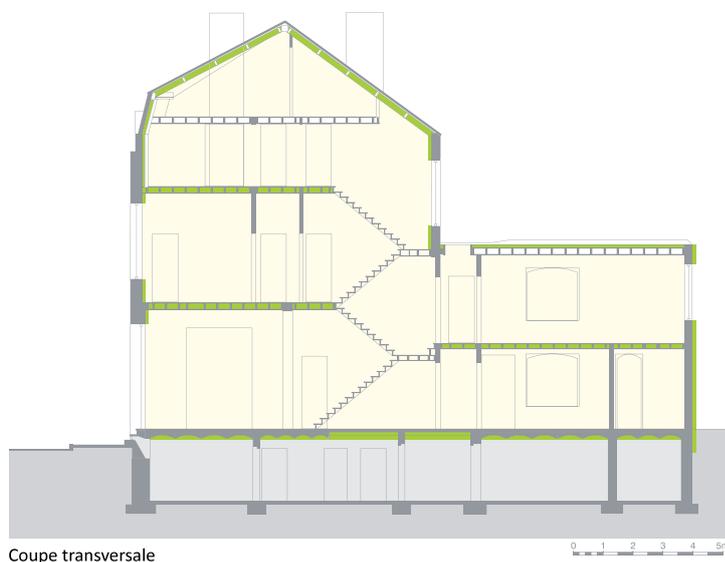
Plan mezzanine



Plan rez-de-chaussée



Plan entresol et premier étage



Coupe transversale

### 1.3 RESUME DE LA RENOVATION

- Rénovation de la toiture
- Isolation des façades du bâtiment principal par l'intérieur
- Isolation des façades de l'annexe par l'extérieur + bardage bois
- Isolation des planchers
- Remplacement des châssis par du double vitrage
- Ventilation double-flux + échangeur de chaleur
- Chaudière gaz à condensation + radiateurs
- Panneaux solaires thermiques
- Matériaux écologiques
- Récupération des eaux de pluie

### 1.4 ARCHITECTURE

L'objectif de l'architecte était de ne pas dénaturer la qualité architecturale du bâtiment. Le défi est réussi puisque le projet respecte l'existant autant que possible. Le bâtiment principal a été rénové pratiquement à l'identique. Davantage de libertés ont été prises au niveau de la rénovation de l'annexe.

Les baies du bâtiment principal ont été maintenues. Seuls quelques fenêtres de toit ont été ajoutées. Les baies de l'annexe ont subi quelques modifications.

Le système d'isolation a été choisi en fonction de chaque situation : par l'intérieur pour le bâtiment principal et par l'extérieur pour l'annexe. Toutes ces mesures ont permis de préserver l'esthétique du bâtiment ancien .



Façade avant après rénovation.



Façade arrière et annexe après rénovation.



Mezzanine en structure bois.



Toiture du bâtiment principal : étanchéité à l'extérieur et freine-vapeur à l'intérieur.



Isolation par l'intérieur du bâtiment principal - façade arrière.

## 2. CONSTRUCTION ET TECHNIQUES

### 2.1 STRUCTURE

Aucune intervention majeure n'a été réalisée au niveau de la structure du bâtiment.

Seules quelques baies ont été percées dans le mur de refend central.

Le plancher du grenier a été démolé et reconstruit plus bas de façon à créer des mezzanines dans l'espace sous toiture.

La structure de la toiture a été maintenue. Des planches ont été fixées aux chevrons de manière à les allonger et à pouvoir placer une épaisseur suffisante d'isolant.

### 2.2 ENVELOPPE

#### ► Composition des parois et valeurs U (existant - neuf)

##### BÂTIMENT PRINCIPAL

###### Toiture à versants

Tuiles terre cuite	3 cm
Lame d'air + lattage	4 cm
Panneaux fibres de bois bitumé	2,2 cm
Isolation flochage cellulose (+ structure bois)	23 cm
Freine-vapeur intelligent	0,1 cm
Lame d'air ventilée	2 cm
Plaque fibro-plâtre	1 cm
Enduit plâtre	0,3 cm
<b>U = 0,17 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>35,6 cm</b>

###### Façade avant

Briques terre cuite	6 cm
Lame d'air non ventilée	4 cm
Briques terre cuite	29 cm
Plâtre	2 cm
Isolation matelas cellulose (+ structure métal)	10 cm
Freine-vapeur intelligent (façade arrière)	0,1 cm
Plaque fibro-plâtre	1,2 cm
Enduit plâtre	0,3 cm
<b>U = 0,29 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>52,6 cm</b>

###### Façade arrière

Briques terre cuite	39 cm
Plâtre	2 cm
Isolation matelas cellulose (+ structure métal)	10 cm
Freine-vapeur intelligent (façade arrière)	0,1 cm
Plaque fibro-plâtre	1 cm
Enduit plâtre	0,3 cm
<b>U = 0,31 W/m<sup>2</sup>K</b>	<b>52,3 cm</b>

En ce qui concerne les façades, les ponts thermiques au niveau des structures métalliques placées entre les isolants n'ont pas été pris en compte dans le calcul du U de la paroi. Ces éléments induisent une augmentation des déperditions de l'ordre de 50%. Une autre solution aurait donc été plus judicieuse, par exemple une structure bois.

## Plancher rez (sur cave)

Plancher en bois	2 cm
Isolation flochage cellulose (+ structure bois)	12 cm
Briques voussettes (entre poutrelles acier)	16 cm
U = 0,32 W/m <sup>2</sup> K	30 cm

## ANNEXE

## Toiture plate

Roofing	2 cm
Panneau de bois	2,5 cm
Lame d'air ventilée (+ structure bois)	30 cm
Laine de roche	16 cm
Plaque fibro-plâtre	1 cm
Enduit plâtre	0,3 cm
U = 0,20 W/m <sup>2</sup> K	35,8 cm

## Façades

Bardage bois	2,8 cm
Lame d'air ventilée	2 cm
Étanchéité	0,1 cm
Isolation laine de roche (+ structure bois)	8 cm
Briques terre cuite	26 cm
Enduit argile	4 cm
U = 0,33 W/m <sup>2</sup> K	44,4 cm

## Plancher rez annexe (sur cave)

Chape isolante	7 cm
Panneaux isolation mousse de polyuréthane	8 cm
Briques voussettes (entre poutrelles acier)	16 cm
U = 0,26 W/m <sup>2</sup> K	31 cm

## ► Fenêtres

Les fenêtres ont toutes été remplacées par des châssis en bois afzélia avec double vitrage. Le coefficient de transmission thermique moyen des fenêtres est de 1,4 W/m<sup>2</sup>K.

- Châssis : U = 1,6 W/m<sup>2</sup>K
- Double vitrage : U = 1,1 W/m<sup>2</sup>K

## ► Traitement des ponts thermiques

L'isolation par l'intérieur demande certaines interventions particulières pour éviter les ponts thermiques.

Les murs de refend, accrochés aux murs de façades, ont été isolés sur une longueur d'un mètre pour que la chaleur ne puisse s'échapper à travers leur masse.

Les planchers ont tous été coupés à 5 cm des murs extérieurs afin d'obtenir une continuité au niveau de l'isolation de façade. De plus, pour obtenir une bonne isolation thermique et acoustique entre les espaces, les planchers entre les différents étages ont tous été isolés à l'aide de cellulose insufflée entre les structures.

## ► Étanchéité à l'air

Différentes mesures ont été prises pour rendre le bâtiment étanche à l'air. Les freine-vapeurs à diffusion variable placés en toiture et en façade arrière permettent de garantir une bonne étanchéité à l'air tout en s'ouvrant et en se fermant au passage de la vapeur d'eau présente dans la maison en fonction des conditions d'humidité.



Isolation par l'extérieur et étanchéité de l'annexe.



Isolation des planchers intermédiaires en cellulose.



Freine-vapeur et étanchéité à l'air.



Les raccords entre les lés ont été recouverts de bandes adhésives assurant la continuité du freine-vapeur. Les raccords au niveau des baies ont aussi été soignés.

Quelques lacunes subsistent au niveau de l'étanchéité à l'air du bâtiment.

Au niveau de la façade avant, aucun freine-vapeur n'a été mis en place. Cela n'était pas indispensable car le risque de condensation est très faible vu que cette façade, orientée au Nord, n'est pas battue par la pluie et est constituée de briques peu poreuses. A posteriori, l'architecte regrette de ne pas y avoir également placé un freine-vapeur, vu que cela aurait nettement amélioré le niveau d'étanchéité à l'air global du bâtiment.

D'autre part, la porte d'entrée ancienne ayant été préservée, l'étanchéité à l'air est assez mauvaise à ce niveau. Un sas doit encore être créé pour remédier à ce problème. Le plancher de la cave et les parois séparant celle-ci du hall d'entrée doivent encore être isolés. L'architecte signale également que toutes les portes d'entrées des appartements sont coupe-feu, conformément à la norme, mais que ces portes ne sont pas étanches à l'air.



Ventilation double flux avec échangeur de chaleur.



Bouche d'arrivée d'air.



Chaudière gaz à condensation.



Radiateurs surdimensionnés, à basse température.

## 2.3 STRATEGIES THERMIQUES

### ► Stratégie d'hiver

L'architecte a estimé que 30% des besoins de chauffage peuvent être comblés à l'aide des panneaux solaires. Les 70% restants sont couverts par une chaudière gaz à condensation. Des radiateurs surdimensionnés fonctionnant à basse température permettent de distribuer cette chaleur.

L'air de ventilation entrant est préchauffé dans un échangeur grâce à l'air sortant.

### ► Stratégie d'été

L'inertie des murs de façade est fortement diminuée du fait de l'isolation par l'intérieur de ceux-ci. Cependant, l'inertie des murs intérieurs est préservée autant que possible. En effet, les murs de maçonnerie sont simplement peints ou recouverts d'enduits naturels à la chaux ou à l'argile.

Les fenêtres de toit disposent d'un film de protection extérieur pour éviter les surchauffes. Des casquettes seront peut-être réalisées plus tard au-dessus des grandes baies situées dans la façade sud.

## 2.4 ENERGIE

### ► Ventilation

Deux appareils de ventilation mécanique contrôlée (VMC) double flux ont été installés. L'air neuf est pulsé dans les séjours et les chambres et l'air vicié est extrait dans les salles de bain et les cuisines. L'air frais et sec venant de l'extérieur est réchauffé en croisant l'air extrait humide et chaud dans un échangeur.

Le premier appareil est destiné au rez-de-chaussée et au bureau de l'entresol ; il pulse 300 m<sup>3</sup> d'air neuf par heure. Le deuxième appareil permet la ventilation du premier et du deuxième étage ; le débit pour celui-ci est de 400 m<sup>3</sup> par heure.

Le système est réglé de manière à ce que les locataires ne doivent pas intervenir dans sa gestion. La régulation de la ventilation est opérée à l'aide de sondes hygrométriques au niveau de l'air extrait, de sondes de température extérieure et d'une programmation horaire. Dès que la température extérieure dépasse les 18°C, le débit de ventilation diminue. Si l'humidité de l'air extrait est élevée, la vitesse des ventilateurs augmente. Et la programmation horaire est établie de façon à ce que le débit d'air hygiénique pulsé soit plus important aux moments où le plus d'occupants sont présents.

### ► Chauffage

Le bâtiment étant relativement bien isolé, le besoin de chauffage n'est pas très élevé.

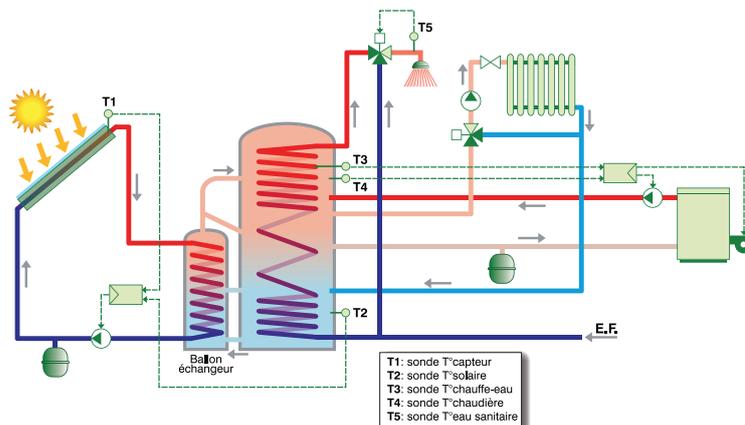
18 m<sup>2</sup> de capteurs solaires thermiques plans ont été installés en toiture. Un système de réservoir stratifié avec ballon échangeur permet une utilisation optimale de l'énergie solaire pour l'eau chaude et le chauffage. Le réservoir de 1 000 litres est rempli d'eau morte de chauffage. Dans un petit ballon échangeur, l'eau morte est chauffée par l'énergie captée au niveau des panneaux solaires thermiques. Quatre bouches situées à des hauteurs différentes relient le ballon échangeur au réservoir. La thermocirculation naturelle permet une bonne stratification des températures dans le ballon.

Si la température de l'eau dans le tiers supérieur du réservoir n'est pas suffisante, la chaudière gaz à condensation se met en route pour apporter l'appoint de chaleur nécessaire.

La chaleur est distribuée dans les différentes pièces via de l'eau à basse température (40°C) et des radiateurs surdimensionnés. Chaque logement dispose d'un compteur intégrateur et d'un thermostat et les radiateurs sont munis de vannes thermostatiques pour permettre aux occupants de régler la température intérieure selon leurs besoins.

#### ► Eau chaude sanitaire

L'eau sanitaire est chauffée grâce à un serpentin ondulé en acier inoxydable situé dans le ballon de 1 000 litres et permettant le chauffage instantané de l'eau sanitaire, évitant les pertes de chaleur et la formation de bactéries. L'architecte a estimé que l'énergie solaire devrait permettre le chauffage de 60% de l'eau chaude sanitaire consommée dans le bâtiment, le reste étant fourni par la chaudière.



Panneaux solaires thermiques.



Ballons de préparation de l'eau chaude sanitaire.

## 2.5 COÛTS DES TRAVAUX

Les travaux de rénovation ont représenté un coût s'élevant entre 950 et 1000 € par m<sup>2</sup> de surface habitable, hors tva et architecte.

- Surface habitable : 297 m<sup>2</sup>, dont 65 m<sup>2</sup> en mezzanine.
- Surface espaces communs non chauffés : 31 m<sup>2</sup>

Les maîtres d'ouvrage ont fait beaucoup de travaux eux-même afin de limiter les coûts. Le prix reste relativement élevé du fait que la création de quatre logements implique un nombre important d'équipements (salles de bain, cuisines, compteurs, ...).



Enduit à base d'argile.

## 3. ENVIRONNEMENT

### 3.1 MATERIAUX ET PROCEDES CONSTRUCTIFS

L'architecte a été assez attentif au choix des matériaux mis en oeuvre. Pour des raisons financières, des matériaux écologiques n'ont pas pu être utilisés partout. Il a donc été décidé de privilégier les matériaux écologiques au moins à l'intérieur du bâtiment.

Les isolants utilisés dans la maison sont la cellulose et le chanvre. Ces matériaux écologiques présentent de nombreuses qualités par rapport aux matériaux traditionnels. Ils ont une plus grande capacité thermique, sont plus ouverts au passage de la vapeur d'eau et ont un impact plus faible sur la santé des occupants.



Enduit à base de coton.



Finitions, textures et couleurs très variées d'une pièce à l'autre.  
 En haut : enduit coton.  
 Au centre à gauche : enduit à l'argile, mur en brique peint et finition plâtre pour le retour d'isolation sur le mur de refend.  
 Au centre à droite : enduit à l'argile et enduit à la chaux.  
 En bas : peinture naturelle à la chaux.



Compteurs d'électricité pour chaque logement.



Compteurs intégrateurs pour les consommations de chauffage de chaque logement.

Au niveau des finitions, une grande diversité de produits ont été mis en oeuvre mais il s'agit toujours de matériaux les plus écologiques et sains possibles : enduits à base d'argile, de chaux, de chaux et de chanvre, de plâtre naturel, de coton, peintures naturelles à la chaux, ...

D'autre part, Yves Piron ne cesse d'expérimenter. Il étudie avec le centre de recherche Architecture et Climat de l'UCL différents aspects : la migration de la vapeur d'eau des parois isolées par l'intérieur, les enduits chaux-chanvre, ... Des capteurs mesurant le degré d'hygrométrie et la température ont été placés en différents points des parois.

### 3.2 MOBILITE

Un parking de 24 places a été créé à l'arrière du bâtiment, cela étant obligatoire suite à la division de la maison en plusieurs appartements. Un parking vélos a aussi été créé.

La maison est assez proche du centre de Liège. Deux bus passent dans la rue et s'arrêtent juste devant la maison. L'un de ces bus permet d'aller dans le centre, à la gare TGV, ...

## 4. VECU

### 4.1 CONFORT THERMIQUE

Les occupants du bâtiment sont très satisfaits du confort thermique intérieur, tant en hiver qu'en été.

L'isolation permet de réduire notablement les besoins de chauffage tandis que les efforts opérés au niveau des baies et de l'étanchéité à l'air permettent de supprimer toute sensation de courant d'air.

L'utilisation de matériaux naturels permet d'atteindre de très bonnes conditions hygrothermiques malgré le fait que l'isolation soit appliquée par l'intérieur.

L'utilisation de la cellulose pour l'isolation de la toiture permet, en été, d'atténuer l'augmentation de la température intérieure au niveau des espaces en mezzanine.

### 4.2 UTILISATION

La maison étant occupée par différents locataires, il est important de les sensibiliser aux questions d'économie d'énergie pour arriver à des résultats intéressants.

Les fondateurs de l'asbl Eco'Hom ont créé un règlement d'ordre intérieur, reprenant les différents principes à respecter pour une bonne gestion et une utilisation rationnelle de l'énergie au niveau du chauffage, de la ventilation, de l'électricité, de l'eau, ... Une séance d'information a également lieu une fois par an afin d'intéresser les locataires à cette problématique.

La ventilation est réglée pour tout le bâtiment via des sondes et une programmation automatique mais, pour le

chauffage, chaque logement dispose d'un thermostat que les locataires peuvent programmer comme ils le souhaitent. Bien sûr, certains occupants sont plus attentifs que d'autres. L'architecte nous explique aussi qu'il est assez difficile de faire comprendre aux locataires qu'il vaut mieux garder les fenêtres fermées vu qu'un système de ventilation mécanique est installé. En effet, l'ouverture des fenêtres peut déséquilibrer le système.

#### 4.3 GESTION ET MAINTENANCE

La programmation de la chaudière, en relation avec les panneaux solaire, n'a pas été optimale dès la première configuration. Le réglage de la ventilation a également nécessité quelques ajustements.

Les filtres des appareils de ventilation sont nettoyés tous les deux mois et remplacés deux fois par an.

Dans le passage commun couvert au rez-de-chaussée, différents compteurs permettent de visualiser les consommations en électricité de chaque logement.

Des compteurs intégrateurs permettent de calculer la consommation de chauffage de chaque appartement.

Il aurait pu être intéressant de faciliter l'accès à ces compteurs de manière à sensibiliser davantage l'occupant à sa consommation.

#### 4.4 CONSOMMATIONS

La surface chauffée est de 297 m<sup>2</sup> et les plafonds étant relativement hauts, le volume chauffé est assez important. Il s'élève à 977 m<sup>3</sup>.

La première année d'occupation après rénovation a demandé une consommation de chauffage de 18 297 kWh, soit 61,6 kWh par m<sup>2</sup> de surface habitable par an.

Les besoins de chauffage sont bien sûr plus importants vu qu'une partie de ceux-ci sont comblés par les panneaux solaires thermiques. Il a été estimé que ceux-ci pouvaient couvrir 30% des besoins de chauffage mais les réglages entre les panneaux solaires et la chaudière n'ont pas été optimaux dès leur mise en service et, pour le moment, les maîtres de l'ouvrage ne disposent pas encore de chiffres précis indiquant la part apportée par le solaire.

Les propriétaires prévoient que cette consommation baisse encore à l'avenir étant donné que des réglages plus fins ont été faits au niveau de la programmation du chauffage et de la ventilation.

Les espaces communs non chauffés doivent encore être isolés en certains points. Les parois séparant le hall d'entrée de la cave vont être isolées et un sas d'entrée va être créé. Ces mesures permettront de diminuer encore les déperditions et les besoins de chauffage.

D'autre part, il est important de souligner qu'environ 50% de la consommation de chauffage du bâtiment est liée à l'appartement situé au rez-de-chaussée. Celui-ci est occupé par un couple comprenant une personne à mobilité réduite. Celle-ci est très souvent présente dans l'appartement et nécessite une température intérieure supérieure à la moyenne demandée. Cela explique que les consommations soient aussi élevées.

Les maîtres de l'ouvrage pensent pouvoir arriver à une consommation de chauffage d'environ 40 kWh/m<sup>2</sup>.an, soit à peu près l'équivalent de 1 200 litres de mazout par an pour l'entièreté de la maison.

Ils ont estimé que le bâtiment avant rénovation devait consommer environ l'équivalent de 10 000 litres de mazout par an.

Le résultat obtenu à l'heure actuelle est donc déjà très intéressant. Les derniers travaux à effectuer combinés au suivi poussé des réglages et des consommations permettront d'aller encore plus loin.

## 5. CONCLUSIONS

Ce projet montre qu'il est possible de réaliser une rénovation énergétique performante, même dans un bâtiment ayant une façade classée. Bien que des améliorations puissent encore être apportées, le résultat est déjà très bon.

L'asbl Eco'Hom a fait de cette maison son bâtiment témoin. Des visites guidées sont organisées régulièrement. Cette initiative permet d'informer concrètement le public sur l'éco-rénovation.

Dans la même optique, les démarches des maîtres de l'ouvrage pour sensibiliser les locataires aux économies d'énergie sont très intéressantes. Il apparaît clairement que, dans le cas de locations, ces interventions sont essentielles pour que le bâtiment soit utilisé de façon optimale et qu'une baisse conséquente des consommations d'énergie soit obtenue.



Cette fiche a été réalisée dans le cadre du projet LEHR - Low Energy Housing Retrofit, rassemblant trois équipes de recherches (PHP/PMP, Architecture et Climat - UCL, CSTC) pour le compte de l'Etat belge - SPP Politique Scientifique, en exécution du «Programme de stimulation au transfert de connaissance dans des domaines d'importance stratégique».

Source information projet : Yves Piron, Bernadette Leemans, Asbl Eco'Hom.

Auteurs photos : Yves Piron, Bernadette Leemans, Aline Branders.

Auteur publication : Aline Branders, Architecture et Climat.



## *Vesterbro, une réhabilitation écologique dans un quartier central*

### Quartier ancien central, Copenhague, Danemark

Vesterbro, quartier central populaire de Copenhague connaît un processus de renouvellement depuis 1990.

Au départ, le niveau de confort dans ce quartier est un des plus faibles de la ville.

La municipalité décide de lancer un plan global de réhabilitation urbaine du quartier dans lequel des considérations écologiques doivent être présentes.

Dans ce cadre des groupes de travail pluridisciplinaires se mettent en place pour un renouvellement écologique et participatif. Cette démarche sera particulièrement approfondie sur l'îlot d'habitation Hedebygade, en limite sud du district de Vesterbro.



### renouveau urbain et développement durable

Agence de développement et d'urbanisme de Lille métropole  
2, place du Concert - F 59043 LILLE cedex -  
Tél. : (33) 03.20.63.33.50 - Fax. : (33) 03.20.74.88.85 - <http://www.lille-metropole-2015.org>  
Réalisation: Eglantine Fichet et David Bouvier



## Contexte :

Copenhague, capitale du Danemark compte 450.000 habitants. Elle appartient à une aire métropolitaine très densément peuplée qui regroupe plus du tiers de la population danoise, soit 1.400.000 habitants.

Copenhague est située à 56°N de latitude, sur les deux îles de Amager et de Sjælland. Du fait de sa situation à la porte de la mer baltique, Copenhague est devenu le premier port du pays et la plaque tournante entre la Scandinavie et l'Europe.

C'est aujourd'hui un grand centre administratif, culturel, financier, commercial et industriel.

La ville conserve peu de bâtiments antérieurs au XVIIIe siècle. De larges boulevards et de nombreux parcs remplacent les remparts.

L'une des caractéristiques de la politique énergétique danoise définie dans le plan d'action «Energie 2000» est la promotion du chauffage urbain et de la cogénération. Au niveau du bâtiment, une nouvelle loi, effective depuis 1997, spécifie que chaque maison danoise doit avoir un « label énergie » qui est obligatoire lors de l'achat d'une maison neuve ou ancienne. Par ailleurs, un plan énergie doit être préparé et révisé tous les ans pour tous les bâtiments de plus de 1500 m<sup>2</sup>.

A Copenhague, la Municipalité a, depuis quelques années, adopté une stratégie énergétique globale en vue de réduire les consommations énergétiques sur son territoire et les impacts sur l'environnement qui y sont liés et donc d'atteindre les objectifs fixés au niveau national.

Divers projets ont d'ores et déjà permis de stabiliser les consommations énergétiques dans certains secteurs voire de les diminuer. Dans ce cadre, la municipalité a décidé, en 1991, de participer au projet international « Urban CO2 Reduction Project » lancé par l'ICLEI (International Council for Local Environmental Initiatives), projet qui visait essentiellement à identifier et analyser les actions à instaurer pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (principalement de CO<sub>2</sub>) au niveau urbain. C'est dans ce cadre qu'aura lieu la réhabilitation de l'îlot Hedebygade.



Carte géographique du Danemark et localisation du quartier de Inner Vesterbro dans le centre ancien de Copenhague

### Le site:

Le Quartier de Inner Vesterbro, situé près de la gare centrale, a été construit entre 1852 et 1920. Environ 90% des bâtiments datent d'avant 1900. Ce fut un quartier ouvrier dès 1850 et l'une des premières zones qui s'étendit en dehors des remparts de la ville.

C'est un quartier essentiellement résidentiel avec, le long des artères principales, des bureaux, des hôtels, des cafés. De son passé, le quartier garde une mixité d'immeubles utilisés pour le commerce, l'industrie, le logement. Il se caractérise aussi par un maillage serré et un langage architectural original. Le motif urbain se compose d'une succession d'îlots, de rues et de squares.

Les 19 pâtés de maisons du quartier comptent 4 000 appartements et environ 6 500 habitants. Le niveau de confort est un des plus faibles de la ville (pas de chauffage, eau chaude ou même salles de bain). Dans les années 1960, l'urbanisation en périphérie de la ville est prioritaire par rapport aux quartiers de centre ville. Le district de Vesterbro est délaissé et s'appauvrit jusque dans les années 1980 qui voit émerger le projet de renouvellement.

Historiquement le quartier accueille une population socialement mixte. Ce quartier central animé propose de nombreux restaurants, cafés, attractions culturelles... Beaucoup de jeunes et d'étudiants contribuent à faire vivre ce quartier multiculturel.

### Plan de situation du quartier de Vesterbro



## La réhabilitation écologique de l'îlot Hedebygade

L'îlot "Hedebygade", caractéristique des années 1880, se trouve au sud du district de Vesterbro (Outer Vesterbro). Il est moins dense que Vesterbro en général mais se compose également d'immeubles alignés le long des rues et de cours intérieures en arrière du front bâti. Les immeubles de Hedebygade abritent 300 logements et une quarantaine d'ateliers et de sites industriels, répartis en 19 propriétés.

Les immeubles sont de propriété privée. La réhabilitation sera toutefois largement financée par les structures publiques de la ville et de l'état (95%).

La participation des habitants est organisée après une première réunion publique sur le thème du renouvellement, des droits de chacun dans le domaine du logement, etc...

19 groupes d'habitants se forment, un par immeuble.

Les étudiants qui peuplent le quartier se montrent sensibles aux principes du développement durable et contribuent à développer une réhabilitation écologique.

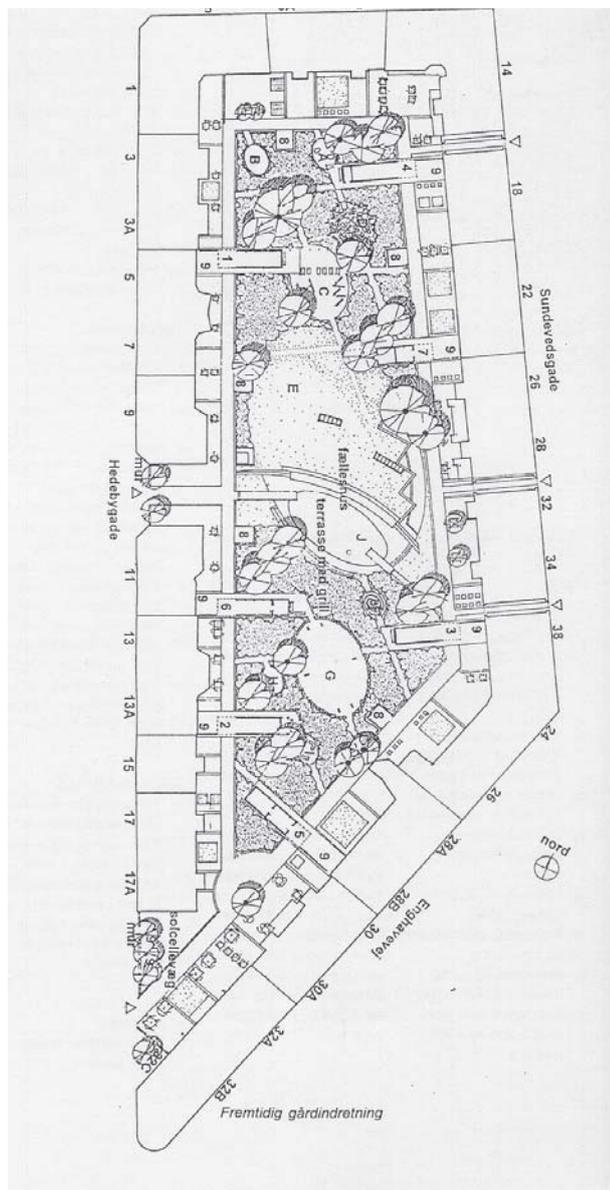
Dans le même temps, un accord entre le ministère du logement et la ville aboutit à concevoir un projet démonstratif des technologies de pointe en matière d'habitat écologique. Le projet de réhabilitation devient un site d'expérimentation écologique pilote et se voit accordé 40 millions de couronnes danoises (5 millions d'euros) par le ministère. A cela s'ajoute 8 millions de couronnes (1 million d'euros).

La société municipale de renouvellement SBS Byfornyelse coordonne le projet.

La réhabilitation vise avant tout à améliorer le confort, plutôt sommaire, des immeubles. Des travaux d'isolation extérieures sont engagés, colorant les façades extérieures.

Les habitations sont restructurées et agrandies par des avancées extérieures pour permettre l'aménagement de salles de bain.

En accord avec la ville, l'augmentation des loyers, qui est de l'ordre du simple au double, s'étalera sur cinq ans.



Sur la volonté des habitants, des espaces communs à l'immeuble de laveries et de salles communes sont créés aux rez-de-chaussée des immeubles ou dans la cour intérieure.

Au niveau énergétique, le bioclimatisme passif est largement utilisé par les surfaces vitrées et les puits de lumières, parfois même alimentés par un miroir.

Des panneaux solaires chauffants à eau chaude sont intégrés aux toits des appartements ou sur les façades, balcons, ainsi que des récupérateurs de chaleur à contre-courant individuels dans chaque logement. Les appartements utilisent également le chauffage par rayonnement à partir du plancher et des systèmes informatisés de contrôle de gestion d'énergie pour suivre la consommation réelle d'énergie.

Les surcoûts engagés pour la mise en place des dispositifs écologiques ne dépassent pas de plus de 30% ceux d'une opération classique. Le retour sur investissement viendra des économies réalisées.

Un bilan était prévu pour 2003 mais il semble que les objectifs prévus en terme d'économie d'énergie n'aient pas été atteints. Voici tout de même quelques évaluations:

Indicateurs	Unités	Hedebygade	Danemark
Consommation de chaleur	MWh / hab. an	5	6.9
Consommation de chaleur (indicateur additionnel)	MWh / 100m2.an	12	11.5
Consommation d'électricité	KWh / hab. an	900	1563
Consommation d'eau	m3/ hab. an	42	49.6
Production de déchets	Kg/ hab. an		444
Emissions de CO2	Tonnes <sup>3</sup> / hab. an	1.1	3.2



*Les façades des immeubles en cours de réhabilitation (en haut, à gauche) et après réhabilitation (à droite) avec le miroir réflecteur (en haut) et les avancées vitrées (en bas). Un centre communautaire construit au centre de l'îlot (en bas à gauche).*

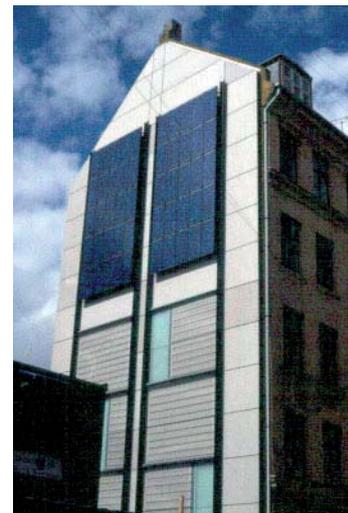




L'effort écologique se poursuit au-delà du domaine énergétique pur. La collecte sélective des déchets est organisée au niveau de l'îlot, des locaux de collecte et des systèmes de compost ont été aménagés. Chaque cour intérieure a fait l'objet d'un aménagement paysager distinguant des espaces communs à l'ensemble de l'îlot et des espaces semi-privatifs pour chaque immeuble. Un architecte paysagiste a travaillé avec le groupe d'habitants de chaque immeuble pour concevoir ces espaces. L'entretien des cours intérieures est payé par les habitants selon la loi en vigueur au Danemark. Les habitants s'organisent en association et « cotisent » 18 couronnes danoises (2 euros) par mois et par m<sup>2</sup> de logement pour employer une personne responsable de l'entretien.



*À gauche: aménagement d'une cour intérieure pour jeux d'enfants*  
*Au milieu, à gauche: les espaces semi-privatifs de l'îlot, à droite: façade avec panneaux solaires*  
*En bas, à gauche: vue sur le bac à compost et, à droite, vue d'ensemble de la cour intérieure*



### Acteurs et montage du projet:

L'ensemble du quartier de Vesterbro a été réhabilité selon les mêmes principes écologiques et participatifs.

L'initiative du projet de renouvellement global revient à la ville de Copenhague qui, en 1991, demande aux deux sociétés publiques de renouvellement **SBS Byfornyelse** et **Urban Renewal Company Copenhagen**, de réaliser ce projet.

A la fin des années 1980, un plan d'orientations pour le renouvellement est défini par ces deux acteurs principaux. Il déterminait les démolitions à envisager, les coûts maxima à prévoir, etc... Puis des plans physiques détaillés furent élaborés pour une période de 10 ans (1990-2000).

La question sociale était de fait posée dans ce quartier très populaire. Toutefois, il est certain que l'augmentation progressive des loyers n'a pu empêcher le départ forcé des plus modestes. Le projet s'est cependant donné des priorités, à savoir commencer les réhabilitations par les immeubles les plus dégradés et menacés de démolition. (blocs 15, 16 et 19 ; voir plan de la page 3).

L'exemple du bloc n°2 permet de mieux comprendre le processus. Dans cet ensemble, 70% des logements appartiennent à des propriétaires privés qui louent, 25% sont des propriétés partagées de l'immeuble et 5% des propriétaires-occupants.

Il a été décidé que les immeubles les plus dégradés, soient 17% des logements, seraient entièrement réhabilités par la ville. Les personnes délogés auraient la possibilité de revenir occuper leur ancien logement, sachant que les loyers doublent sur cinq ans. Moins de 5% de ces 17% sont revenus. L'obligation de relogement sous certaines conditions (dans la même ville, logements répondant à certains besoins exprimés par les habitants, etc...) semble avoir satisfait la majorité des personnes délogés.

Pour les 83% de logements moins dégradés du bloc, la réhabilitation à effectuer étant moins conséquente, les résidents purent continuer à occuper leur logement pendant les travaux. La très grande majorité d'entre eux est donc restée dans leurs anciens logements. Dans ce cas, la réhabilitation s'est fait aux frais des propriétaires avec l'aide de fonds publics de la ville. Un cahier des charges leur a été soumis.





### *Quelques conclusions:*

Les acteurs du projet tirent un certain nombre de conclusions méthodologiques générales qui peuvent être utiles à toute autre municipalité souhaitant se lancer dans ce type de projet :

- ◆ l'autorité locale maître d'œuvre du projet doit se fixer des objectifs chiffrés en terme de réduction des consommations d'énergie, d'eau, de déchets, etc.
- ◆ c'est à la municipalité d'établir les recommandations qui définissent les standards de la rénovation ou de la construction écologique,
- ◆ l'autorité locale responsable doit aussi mettre en place des comités de suivi intersectoriels permanents qui ont notamment pour rôle de définir une méthode de mesures des résultats et de vérifier l'adéquation entre les objectifs fixés et les résultats obtenus, etc.
- ◆ la réhabilitation doit être organisée avec la participation active des habitants, des autres partis politiques, des designers, etc.
- ◆ les responsables politiques locaux au plus haut niveau doivent être impliqués et des ressources financières doivent être allouées, etc.

Le cas particulier de l'îlot Hedebygade a également permis de tirer quelques « leçons ».

Si les professionnels font l'éloge du travail architectural, les habitants ne sont pas moins fiers de leurs façades, de leur nouveau bâtiment communautaire ou de leurs jardins. La nouvelle architecture est globalement acceptée et attirent des visiteurs étrangers. Cependant, des critiques s'élèvent sur le fait que l'argent dépensé a plus servi à une démonstration d'écologie urbaine qu'à l'écologie urbaine en elle-même.

Le point de vue décisif concernant l'évaluation de la réhabilitation de Hedebygade est de savoir si ce projet expérimente des technologies 'alternatives' sur les termes des habitants ou s'il est une 'vitrine' (*a show case* dans le texte original) pour l'industrie de pointe danoise. Sans doute les deux aspects sont-ils imbriqués.

Une différence existe pourtant entre l'écologie urbaine et le management environnemental (Jensen, 1994), si l'on prend en compte le fait que l'écologie urbaine se base sur des technologies simples et des activités de base alors que le management environnemental requiert des technologies avancées et un engagement civique. Tandis que plusieurs habitants répondaient au premier concept, la municipalité et la société de renouvellement urbain appliquaient le second.

Enfin, le dernier mais non moindre enseignement de cette expérience concerne la durée du projet. Il a été décidé de réhabiliter Hedebygade en juin 1995 mais le processus de renouvellement avait été officialisé par la ville en 1972. Depuis cette date, de nombreuses propositions de la part des municipalités, des membres de la société de renouvellement et des habitants successifs ont été formulées. Dans un quartier peuplé majoritairement de jeunes et de personnes âgées, 32 ans de mise en branle sont trop longs. Les gens perdent patience, se lassent, déménagent...

Certes, l'image écologique du quartier a fait rester les jeunes mais il est important, pour que la population soutienne et participe au projet, que celui-ci ne dépasse pas trois ans.

### **Contacts:**

**Sune Skovgaard**, architecte, adjoint au chef du service urbanisme de la ville de Copenhague, [ssk@btf.kk.dk](mailto:ssk@btf.kk.dk) +46(0)33661202

**Kurt Kjaergaard Christensen**, architecte, responsable pour la réhabilitation de Hedebygade, SBS Byfornyelse, [kkc@sbsby.dk](mailto:kkc@sbsby.dk), +46(0)82322540

# Table des figures

FIGURE 1: Source : ICEDD Bilan énergétique wallon 2005	12
FIGURE 2: Typologie prioritaire n°2	44
FIGURE 3: Typologie prioritaire n°4	44
FIGURE 4: Typologie prioritaire n°8	44
FIGURE 5: Centre de la ville de Liège - quartier d'Outremeuse	45
FIGURE 6: Situation en 1883	46
FIGURE 7: Situation en 1912	46
FIGURE 8: Situation en 1938	46
FIGURE 9: Îlots entourant la Place du Congrès (Google Earth)	47
FIGURE 10: Îlot sélectionné autour de la Place du Congrès (Google Earth)	49
FIGURE 11: Zones protégées en matière d'urbanisme	<a href="http://cartographie.wallonie.be">http://cartographie.wallonie.be</a>
	50
FIGURE 12: Plan du parcellaire obtenu sur base du plan PICC	51
FIGURE 13: Surfaces des différentes zones composant l'îlot	51
FIGURE 15: Rue du Parlement et rue Jean d'Outremeuse	52
FIGURE 14: Plan des rues et de la place autour de l'îlot	52
FIGURE 16: Place du Congrès (vue depuis le toit de l'immeuble d'appartements)	53
FIGURE 17: Coeur de l'îlot (vue depuis le toit de l'immeuble d'appartements)	54
FIGURE 18: Les différents types de couverture du sol en coeur d'îlot	55
FIGURE 19: Coeur de l'îlot (vues depuis le toit de l'immeuble d'appartements)	55
FIGURE 20: Bâti d'origine	56
FIGURE 21: Annexes	56
FIGURE 22: Immeuble d'appartements	56
FIGURE 23: Les 4 fonction des annexes	60
FIGURE 25: Plan des fonctions des annexes	61
FIGURE 26: Carte des typologies du bâti	62
FIGURE 27: Végétation dans l'îlot	63
FIGURE 29: Modélisation dans ALCYONE (Îlot complet + toits plats + masques solaires + zones thermiques)	65
FIGURE 30: Modélisation pour le calcul des R+1	65
FIGURE 31: Modélisation pour le calcul des R+2	65
FIGURE 32: Modélisation pour le calcul des R+3	65
FIGURE 28: Carte des différentes zones thermiques	65
FIGURE 33: Paroi à rue du bâtiment centrale de la zone 12 en prenant compte les masques solaires	69
FIGURE 35: Paroi à rue du bâtiment centrale de la zone 12 sans prendre compte les masques solaires	69
FIGURE 34: Diagramme de Sankey -ILOT - BASE - avec masques	69

FIGURE 36: Diagramme de Sankey -ILOT - BASE - sans masque	69
FIGURE 37: Apport solaire selon les zones thermiques (orientation façades rue+typologie) en kWh/m <sup>2</sup>	70
FIGURE 38: Carte des différentes zones	70
FIGURE 39: Plan des points étudiés dans TOWSCOPE	72
FIGURE 40: Représentation en 3D des points étudiés dans TOWNSCOPE	72
FIGURE 41: valeurs pour les toitures côté place du Congrès	73
FIGURE 42: valeurs pour les pignons de l'immeuble	73
FIGURE 43: valeurs pour les toitures côté rue de l'Enseignement	73
FIGURE 44: valeurs pour les toitures rue Jean d'Outremeuse	73
FIGURE 45: valeurs pour les toitures côté rue du Parlement	73
FIGURE 46: Évolution du gain en besoin de chauffage pour 1 maison	111
FIGURE 47: Prix de chaque amélioration pour 1 maison	111
FIGURE 48: Évolution du gain en besoin de chauffage pour l'immeuble	111
FIGURE 49: Prix de chaque amélioration pour l'immeuble	111
FIGURE 50: Emplacement des nouvelles annexes	114
FIGURE Répartition des logements selon leur âge et leur configuration	145
FIGURE Chiffres < Enquête socio-économique 2001 – DGSIE, SPF Economie	145
FIGURE Taille des logements en fonction de leur configuration	145
FIGURE Chiffres < Enquête socio-économique 2001 – DGSIE, SPF Economie	145

BOUVIER, D. et FICHET, E., « Vesterbro, une réhabilitation écologique dans un quartier central » dans Les Ouvrages : Renouvellement urbain et environnement - RUE 2000, document sur internet, Agence de développement et d'urbanisme de Lille Métropole, N°4, Vestrebro ; Copenhague ; Danemark, <http://www.lille-metropole-2015.org/ADU/travaux/puca/fiche4.pdf>, 2005

KINTS, C., « La rénovation énergétique et durable des logements wallons ; Analyse du bâti existant et mise en évidence de typologies de logements prioritaires », Architecture & Climat, Université Catholique de Louvain, 2008.

PIERSON, C. et UYTTEBROUCK, C. « Etude du quartier d'Outremeuse » ; travail dans le cadre du cours d'Urbanisme et Sitologie ; Université de Liège ; année académique 2008-2009

PHP/PMP, Architecture et Climat - UCL, CSTC, «LEHR, Low Energy Housing Renovation; Guide de la rénovation basse énergie des logements en Belgique», <http://www.lehr.be/>

REITER, S., « La rénovation urbaine : une solution pour le développement durable des urbanisations » dans Les cahiers de l'urbanisme, n°72, p. 23-27, juin 2009

