

## **Synthèse des informations-bâtiment pour l'intégration d'un projet de rénovation dans un environnement BIM**

**Auteur :** Matthys, Coralie

**Promoteur(s) :** Leclercq, Pierre

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil architecte, à finalité spécialisée en ingénierie architecturale et urbaine

**Année académique :** 2017-2018

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/5519>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

Projet de fin d'études réalisé en vue de l'obtention du grade de master

INGÉNIEUR CIVIL ARCHITECTE par CORALIE MATTHYS

## SYNTHÈSE DES INFORMATIONS-BÂTIMENT POUR L'INTÉGRATION D'UN PROJET DE RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DANS UN ENVIRONNEMENT BIM

Etude du potentiel d'exploitation de modèles orienté-objet pour réaliser des  
analyses thermiques de l'enveloppe d'un bâtiment existant

**PROMOTEUR** : Pierre Leclercq

**JURY** : Samia Ben Rajeb - Xavièra Calixte - Kamal Figuigui - Anabelle Rahhal

**PRÉSIDENT DU JURY** : Pierre Leclercq

## ABSTRACT

This thesis aims to evaluate the possibilities and the limits of a digital model to carry out energy analysis. It is part of a current research context that aims to develop digital tools and implement integrated workflows to meet the performance and energy efficiency requirements of buildings.

This work focuses more specifically on the thermal performance of the building envelope of existing buildings in Belgium. It focuses on the study of the building model but also on the tool that served as a support for its creation.

In practice, the methodology established is based on the modeling of an existing building on Revit and on the exploitation of its digital models using two approaches.

The first one concerns the study of the potential for extracting and using the information contained in the digital models of the existing building to perform a regulatory calculation in the PEB software. The second approach investigates the exploitation potential of these models for dynamic thermal simulation in the Green Building Studio software.

The results obtained highlight some limitations to the use of digital models for energy analysis. These are, on the one hand, linked to the models themselves and, on the other hand, intrinsic to the analysis tools. They also highlight the constraints currently faced by energy consultancy firms.

## RÉSUMÉ

Ce travail de fin d'études a pour objectif d'évaluer les possibilités et les limites de la maquette numérique pour réaliser des études énergétiques. Il s'inscrit dans un contexte de recherche actuel qui vise à développer des outils numériques et à mettre en place des processus intégrés pour répondre aux exigences de performance et d'efficacité énergétique des bâtiments.

Ce travail s'intéresse plus précisément à la performance thermique de l'enveloppe des bâtiments existants en Belgique. Il porte sur l'étude de la maquette numérique du bâtiment mais aussi sur l'outil qui a servi de support à sa création.

En pratique, la méthodologie mise en place repose sur la modélisation d'un cas concret sur Revit et sur l'exploitation de ses maquettes numériques selon deux approches.

La première porte sur l'étude du potentiel d'extraction et d'utilisation des informations contenues dans les modèles numériques du bâtiment existant pour réaliser un calcul réglementaire dans le logiciel PEB. La seconde approche étudie le potentiel d'exploitation de ces modèles pour une simulation énergétique dans le logiciel Green Building Studio.

Les résultats obtenus mettent en évidence certaines limitations à l'usage des maquettes numériques pour des études énergétiques. Celles-ci sont d'une part, liées aux modèles eux-mêmes et d'autre part, intrinsèques aux outils d'analyse. Ils mettent également en exergue les contraintes auxquelles sont actuellement confrontés les bureaux d'études énergétiques.

## REMERCIEMENTS

*Je souhaite tout d'abord remercier le professeur Pierre Leclercq, promoteur de ce travail, pour son suivi régulier et ses conseils avisés tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*J'adresse également de sincères remerciements à Anabelle Rahhal et Xaviéra Calixte, toutes deux doctorantes à l'Université de Liège, pour leur disponibilité, leurs conseils et pour l'aide qu'elles m'ont apporté au cours de ce travail.*

*Je tiens à remercier Joëlle Arte et Kamal Figuiqui, architectes chez ASSAR, pour le temps qu'ils m'ont accordé lors des interviews et pour m'avoir éclairé sur la pratique du BIM en entreprise.*

*Je remercie Alexandra Dubuisson, BIM manager chez ASSAR, pour ses précieux renseignements apportés par e-mail ainsi que le professeur Samia Ben Rajeb pour avoir accepté d'intégrer ce jury.*

*Je tiens enfin à remercier mes parents et mes amis, pour leur soutien et leurs encouragements indéfectibles.*

# SOMMAIRE

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
<b>2. ETAT DE L'ART</b>	<b>5</b>
2.1. CONTEXTE D'ÉMERGENCE DU BIM DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION	5
2.2. LE CONCEPT DE MATURITÉ	6
2.3. LES DÉFINITIONS DU BIM	6
2.4. LES CARACTÉRISTIQUES DU BIM	7
2.4.1. L'UTILISATION DE MODÈLES ORIENTÉS-OBJET	7
2.4.2. LA COLLABORATION ET LA TRANSMISSION DE DONNÉES	9
2.4.3. LES LOD	12
2.4.4. LES POSSIBILITÉS D'USAGES DE LA MAQUETTE NUMÉRIQUE	13
2.5. LE NUMÉRIQUE AU SERVICE DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE DU BÂTIMENT	15
2.5.1. LA RÉNOVATION DANS LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION EN BELGIQUE	15
2.5.2. LES OUTILS DE CALCUL ÉNERGÉTIQUE	16
2.5.3. L'IMPLÉMENTATION DU BIM AUX BÂTIMENTS EXISTANTS	21
2.6. ÉTAT DES PRATIQUES ACTUELLES DU BIM : RENCONTRE AVEC LE BUREAU D'ARCHITECTURE ASSAR	24
<b>3. QUESTIONS DE RECHERCHE</b>	<b>28</b>
<b>4. MÉTHODOLOGIE</b>	<b>30</b>
4.1. DESCRIPTION GÉNÉRALE DE LA DÉMARCHE DE RECHERCHE	30
4.2. CRÉATION DES MODÈLES DU BÂTIMENT EXISTANT	32
4.2.1. TERMES ET DÉFINITIONS	32
4.2.2. DESCRIPTION DU PROJET	33
4.2.3. OBJECTIFS ET USAGES BIM	33
4.2.4. ÉQUIPE DU PROJET ET TÂCHES CONFIEES	34
4.2.5. OUTILS	34
4.2.6. STRUCTURATION DES MODÈLES DU BÂTIMENT	36
4.2.7. CONTENU DES MODÈLES	37
4.2.8. RÉGLAGE DES PARAMÈTRES ÉNERGÉTIQUES GLOBAUX	39
4.3. PRÉPARATION DES MODÈLES ET EXTRACTION DES INFORMATIONS-BÂTIMENT POUR UNE ÉTUDE THERMIQUE RÈGLEMENTAIRE	41
4.3.1. PROTOCOLE	41
4.3.2. MÉTHODE DE TRAITEMENT DES DONNÉES	57
4.4. PRÉPARATION DES MODÈLES POUR UNE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE	61
4.4.1. PROTOCOLE	61
4.4.2. PARAMÈTRES D'ANALYSE	63
<b>5. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS</b>	<b>65</b>
5.1. ÉTUDE DU POTENTIEL D'EXPLOITATION DES MODÈLES POUR UNE ÉTUDE THERMIQUE RÈGLEMENTAIRE	65

5.1.1.	PRÉSENTATION DES RÉSULTATS	65
5.1.2.	INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	67
<b>5.2.</b>	<b>ÉTUDE DU POTENTIEL D'EXPLOITATION DES MODÈLES POUR UNE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE</b>	<b>77</b>
5.2.1.	RÉSULTATS DE L'EXPORT GBXML À PARTIR DE REVIT	77
5.2.2.	RÉSULTATS DE L'EXPORT GBXML À PARTIR DE GREEN BUILDING STUDIO	85
<b>6.</b>	<b>DISCUSSION</b>	<b>89</b>
<b>6.1.</b>	<b>POTENTIEL D'EXPLOITATION DES INFORMATIONS DU MODÈLE POUR ÉTUDE THERMIQUE RÈGLEMENTAIRE</b>	<b>89</b>
<b>6.2.</b>	<b>POTENTIEL D'EXPLOITATION DES INFORMATIONS DU MODÈLE POUR UNE SIMULATION ÉNERGÉTIQUE</b>	<b>90</b>
<b>6.3.</b>	<b>LIMITES ET PERSPECTIVES</b>	<b>92</b>
6.3.1.	LIMITES	92
6.3.2.	PERSPECTIVES	92
<b>7.</b>	<b>CONCLUSION</b>	<b>94</b>
<b>8.</b>	<b>RÉFÉRENCES</b>	<b>96</b>
<b>8.1.</b>	<b>LIVRES ET ARTICLES SCIENTIFIQUES</b>	<b>96</b>
<b>8.2.</b>	<b>ENQUÊTES, REVUES ET RESSOURCES INTERNET</b>	<b>97</b>
	<b>TABLE DES FIGURES</b>	<b>100</b>
	<b>TABLE DES TABLEAUX</b>	<b>102</b>
	<b>ANNEXES</b>	<b>104</b>

---

# INTRODUCTION

---

# 1. INTRODUCTION

---

Ce travail de fin d'études s'inscrit dans un contexte où le numérique prend une place prépondérante dans le métier de l'architecte. La conception de projets autrefois réalisés à la main à l'aide de matériel de dessin a peu à peu évolué vers une conception informatisée grâce aux avancées technologiques et à l'avènement de nouveaux outils informatiques tels que la CAO<sup>1</sup> et le DAO<sup>2</sup>, permettant ainsi de gagner en précision et en efficacité.

Depuis plusieurs années, le secteur du bâtiment accuse toutefois un certain retard par rapport à des domaines tels que l'aéronautique ou l'automobile. En effet, l'élaboration d'un projet de construction nécessite l'engagement de nombreuses disciplines qui ne sont pas tous impliquées au même moment et accomplissent leurs tâches à l'aide de leurs propres outils et méthodes de travail. Ce domaine se retrouve donc confronté aux problématiques liées à l'articulation des acteurs et au partage de l'information au cours du processus d'élaboration du projet. En outre, le secteur du bâtiment est soumis à des contraintes législatives et réglementaires toujours plus nombreuses, accroissant la complexité des projets et impliquant de devoir gérer une quantité considérable de données.

Parallèlement à cette problématique, nous assistons à une autre transformation majeure : celle de la transition énergétique qui résulte d'une prise de conscience internationale des problèmes environnementaux. L'Union Européenne a ainsi mis en place une série d'objectifs à atteindre d'ici 2020. Ceux-ci visent une diminution de 20% des émissions de gaz à effet de serre, de la consommation en énergie globale et de l'utilisation des énergies fossiles au profit d'énergies renouvelables (Commission Européenne, 2007).

Pour atteindre ces objectifs, des mesures doivent être mises en place dans l'ensemble des secteurs consommateurs d'énergie, en particulier celui du bâtiment, qui est responsable à l'échelle européenne de 50 % des consommations des sources d'énergie primaire, de 45 % des consommations finales en énergie, de 16 % des consommations d'eau, de 40 % de la production de déchets et de 30 % des émissions de gaz à effets de serre (Trachte & Salvesen, 2014, cités par Attia & Ruellan, 2016).

Cependant, l'attention accordée à l'efficacité énergétique des logements neufs n'est pas suffisante et ces objectifs ne pourront être atteints sans une amélioration énergétique du parc immobilier existant. En Belgique, environ 61 % du stock bâti est composé de bâtiments qui ont été construits avant 1980 et qui n'ont jamais fait l'objet de rénovations pour améliorer leurs performances énergétiques. Ainsi, la rénovation énergétique représente l'un des leviers principaux pour l'économie d'énergie (Mlecnik *et al.*, 2010).

Plusieurs besoins découlent de ce contexte. D'une part, il importe de revoir le schéma traditionnel et de mettre en place de nouvelles méthodes de travail qui facilitent la transmission des informations et la communication entre les acteurs d'un projet de construction. D'autre part, il est essentiel de développer des outils qui permettent d'évaluer l'impact environnemental d'un bâtiment et d'analyser les mesures d'amélioration de ses performances énergétiques de manière accélérée. C'est sur base de ces considérations que les états encouragent de plus en plus l'utilisation du BIM et de la maquette numérique pour soutenir la transition énergétique des bâtiments.

Cette recherche s'intéresse donc au potentiel d'utilisation de la maquette numérique d'un bâtiment existant pour obtenir un diagnostic de la performance thermique de son enveloppe. Cette évaluation

---

<sup>1</sup> Conception Assistée par Ordinateur

<sup>2</sup> Dessin Assisté par Ordinateur

sera réalisée en deux temps : nous étudierons tout d'abord le potentiel d'exploitation des informations contenues dans le modèle pour un encodage règlementaire dans le logiciel PEB, nous analyserons ensuite le potentiel d'exploitation des modèles pour réaliser des simulations thermiques dynamiques dans un logiciel commercial choisis parmi ceux disponibles sur le marché.

Ce travail de recherche se structure en cinq étapes principales. La première vise à rassembler les connaissances scientifiques relatives aux thématiques traitées dans ce travail, à savoir : les concepts et les caractéristiques du BIM, les spécificités des bâtiments existants, les outils de calcul énergétique ainsi que les enjeux de l'implémentation du BIM en rénovation.

Sur base de l'état de l'art, la deuxième étape est consacrée à la mise en évidence des problématiques qui font l'objet de ce mémoire et à l'énoncé des questions de recherche.

La troisième étape détaille la méthodologie mise en place pour apporter des réponses à ces questions de recherche.

La quatrième partie est consacrée à la présentation et à l'interprétation des résultats des mises en application qui serviront de support aux discussions développées dans la cinquième et dernière étape.

---

# ÉTAT DE L'ART

---

## 2. ETAT DE L'ART

### 2.1. Contexte d'émergence du BIM dans le secteur de la construction

Le secteur de la construction est un domaine complexe qui regroupe un grand nombre d'acteurs aux compétences distinctes. Les disciplines impliquées dans un projet de construction utilisent des outils spécifiques souvent non compatibles entre eux et possèdent leurs propres méthodes de travail (Celnik & Lebègue, 2014). Le processus d'élaboration d'un projet de construction est par conséquent généralement fragmenté et nécessite la transmission d'une multitude de documents de nature variée pour assurer la collaboration et la communication entre les intervenants (Arayici, 2015).

Cependant, ce secteur est aujourd'hui soumis à des exigences toujours plus nombreuses en termes de coûts, de performances et de techniques de construction. La sophistication des équipements (sécurité, traitement de l'air, domotique, ...) et l'ajout de contraintes qui auparavant n'existaient pas résulte en des projets de plus en plus complexes qui impliquent de devoir gérer une quantité croissante de données (Bradley & Krygiel, 2008 ; Celnik & Lebègue, 2014).

En outre, les parlements recommandent de plus en plus l'usage de technologies et d'outils de modélisation des données du bâtiment pour répondre à des appels d'offre publics (Directive 2014/24/UE, 2014). Face à ces constats, le procédé traditionnel de délivrance d'un projet basé sur une communication unidirectionnelle et des échanges de données asynchrones s'avère donc de moins en moins efficace et génère un temps de coordination et des coûts considérables (Bradley & Krygiel, 2008 ; Eastman, Liston, Sacks & Teicholz, 2011).

L'inefficacité du processus traditionnel peut être illustrée par la figure 1 ci-dessous. Celle-ci indique que la productivité du travail dans le secteur de la construction au niveau international a connu une croissance annuelle de 1% seulement tandis que celles de l'économie mondiale et des industries manufacturières sont respectivement de 2,7% et 3,6% (McKinsey Global Institute, 2017).

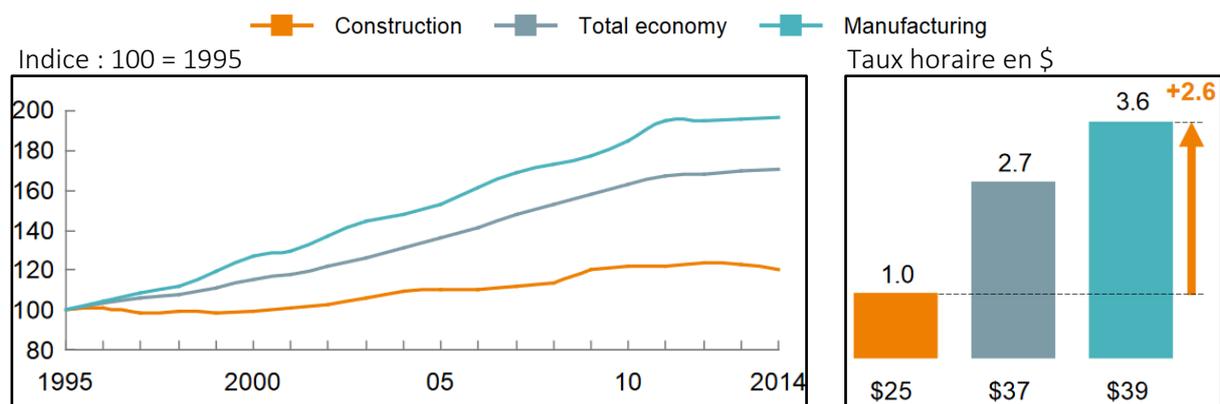


Figure 1 – Valeur ajoutée par heure de travail et par personne engagée (gauche) et taux de croissance annuel (droite) entre 1995 et 2014 basé sur un échantillon de 41 pays (Source : McKinsey Global Institute, 2017)

Pour gérer la complexité croissante des projets de construction et pallier le manque d'efficacité du secteur, il est donc nécessaire de revoir les méthodes de travail actuelles et les processus d'échange d'informations entre les intervenants. De nombreuses publications considèrent les technologies numériques telles que le BIM comme des solutions possibles pour répondre aux problèmes qui freinent l'industrie de la construction (Confédération Construction, 2016).

Cependant, ces technologies sont connues et utilisées principalement par des entreprises comptant plus de 20 travailleurs. Or, en Wallonie, 85% des entreprises de construction sont composées de moins de 10 employés (Confédération Construction, 2016). Ainsi, l'utilisation du BIM est loin d'être systématique pour la majorité des bureaux. La plupart des projets correspondent actuellement à du BIM que l'on peut appeler de « niveau 0 » voire de « niveau 1 » (Rasking & Decroos, 2017).

## 2.2. Le concept de maturité

Les études menées par Succar (2009) ont permis de définir quatre étapes préalables au BIM collaboratif. Celles-ci portent le nom de « niveaux de maturité » et décrivent le degré d'intégration du BIM au sein d'une entreprise ou d'un projet. Elles se distinguent selon la représentation de l'information-bâtiment et selon les processus d'échange et de collaboration entre les parties prenantes.

Le BIM **niveau 0** aussi appelé pré-BIM précède la mise en œuvre du BIM. Il fait référence au schéma traditionnel du secteur de la construction. Ce niveau repose sur l'utilisation de logiciels de CAO traditionnels et sur l'échange de fichiers individuels qui sont des représentations bidimensionnelles. La représentation 3D n'est généralement utilisée que pour visualiser le projet. Le processus métier est linéaire et asynchrone et ne donne lieu à aucune collaboration systématique entre les acteurs.

Le BIM est de **niveau 1** lorsque la modélisation est effectuée à l'aide d'un logiciel paramétrique orienté-objet. L'utilisation de ce type de logiciels contribue à la migration des représentations bidimensionnelles traditionnelles vers des modèles tridimensionnels enrichis sémantiquement. Ces modèles sont généralement spécifiques à une discipline et servent principalement à automatiser la génération et la coordination de la documentation 2D avec les visualisations 3D. Les pratiques collaboratives sont similaires au pré-BIM. Les échanges des données du projet sont toujours basés sur des documents individuels et la communication entre les parties prenantes reste asynchrone et unidirectionnelle.

Le BIM **niveau 2** marque la transition de la modélisation orientée-objet à la collaboration orientée-modèle. A ce niveau, chaque discipline crée son propre modèle orienté-objet et collabore avec les autres disciplines en partageant les informations sous un format de fichier commun propriétaire ou non propriétaire. Le processus de collaboration entre les acteurs peut avoir lieu entre différentes étapes du cycle de vie du projet et permet de réaliser diverses simulations et analyses. Bien que la communication entre les parties reste asynchrone, les lignes de délimitation spécifiques du pré-BIM séparant les rôles, les disciplines et les phases du projet commencent à s'estomper et impliquent des transformations contractuelles.

Le BIM **niveau 3** représente l'ultime niveau de maturité et n'est pas encore opérationnel dans le secteur de la construction. Il correspond au passage d'une collaboration orientée-modèle vers une intégration orientée-réseau. Cette intégration est réalisée via des plateformes ou des bases de données centralisées. Les modèles deviennent interdisciplinaires et permettent de réaliser des analyses complexes. À ce stade, le travail collaboratif s'organise autour d'un modèle unique partagé sur un serveur central et alimenté en temps réel par tous les acteurs du projet. Les échanges deviennent bidirectionnels et impliquent une dissolution des phases du cycle de vie du projet autrefois distinctes.

## 2.3. Les définitions du BIM

Selon les points de vue, le BIM peut représenter trois concepts différents de sorte que trois définitions lui sont généralement attribuées :

Le BIM en tant que « **Building Information Model** » est un modèle géométrique sémantiquement enrichi formant une base de données partagées du bâtiment. Le National Building Information Modeling Standards (NBIMS) Comitee le définit précisément comme :

*« ...une représentation numérique des caractéristiques physiques et fonctionnelles d'un bâtiment. À ce titre, elle agit comme une ressource commune du savoir pour que les données sur un bâtiment forment une base fiable à la prise de décisions durant tout son cycle de vie, et ce dès sa création. »* (National BIM Standard (NBIMS), 2007, p.22).

Le BIM en tant que « **Building Information Modeling** » est un processus de gestion des informations d'un bâtiment et se définit comme :

*« ...un processus de travail et de collaboration entre intervenants d'un projet de construction, reposant sur des outils métiers particuliers qui permettent la conception et l'exploitation d'une maquette numérique, préfigurant le bâtiment tel que construit ou exploité. »* (Celnik & Lebègue, 2014, p.37).

Le BIM en tant que « **Building Information Management** » correspond à une méthode de management des équipes de projet et se définit comme :

*« ...une nouvelle approche de conception, de construction et de gestion d'un bâtiment. Le BIM n'est pas un objet ou un type de logiciel, mais plutôt une activité humaine qui comporte de vastes transformations de processus dans le secteur de la construction. »* (Eastman et al., 2011, p.11).

Dans le cadre de ce travail de recherche, nous nous baserons sur la première définition du BIM. Nous analyserons la maquette numérique en tant que base de données et évaluerons le potentiel d'exploitation de ses informations pour étudier la performance énergétique d'un bâtiment.

Ces trois définitions permettent de mettre en lumière les principales caractéristiques du BIM.

## 2.4. Les caractéristiques du BIM

### 2.4.1. L'utilisation de modèles orientés-objet

La maquette numérique ou modèle orienté-objet constitue le support du processus BIM. Elle ne doit cependant pas être confondue avec un modèle 3D réalisé à partir d'un logiciel de CAO classique.

En effet, la maquette numérique est un modèle orienté-objet qui inclut des composants paramétriques définis de manière structurée et précise. Ces objets sont dits « intelligents » car ils sont sémantiquement enrichis par des informations géométriques ou non géométriques (Figure 2). A contrario, un modèle 3D est un modèle géométrique ou vectoriel créé à partir de formes primitives qui définissent des volumes (Comité technique BIM & ICT, 2018 ; Eastman et al., 2011 ; Kensek, 2015 ; Rasking & Decroos, 2017). Ceux-ci ne possèdent quant à eux que très peu d'informations sur lesquelles il est possible d'intervenir (Kensek, 2015).

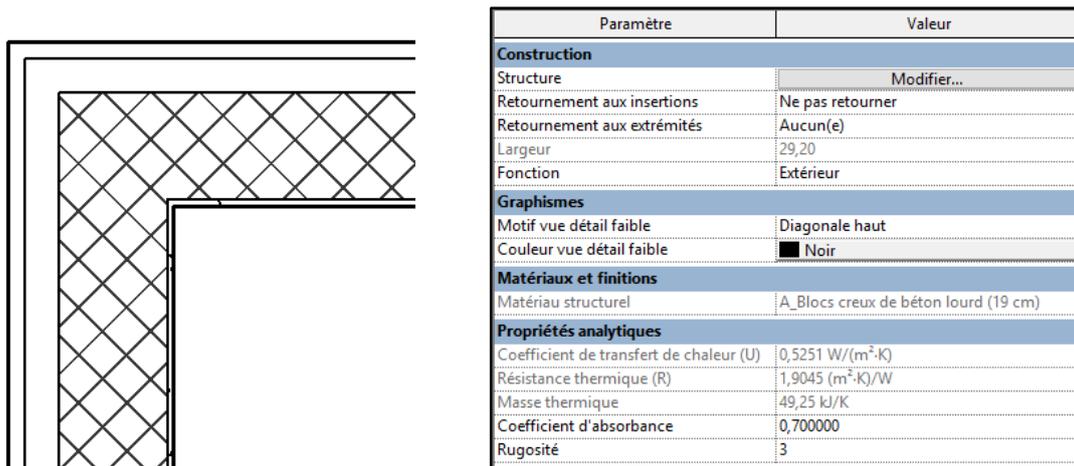


Figure 2 - Propriétés associées à un élément de mur issu d'un modèle Revit

En outre, le modèle BIM orienté-objet se caractérise par une grande cohérence dans ses représentations. En effet, tout ajustement apporté à un composant dans l'une des vues du modèle entraîne la mise à jour de l'ensemble du modèle virtuel et, par conséquent, de toutes ses représentations (Figure 3). Cela signifie que les informations issues de la maquette numérique (plans, coupes, représentations photoréalistes, quantités,...) sont coordonnées entre elles (Comité technique BIM & ICT, 2018 ; Rasking & Decroos, 2017). Par ailleurs, tout objet du modèle peut être édité via l'interface graphique du logiciel ou via les propriétés qui le caractérisent (Kensek, 2015).

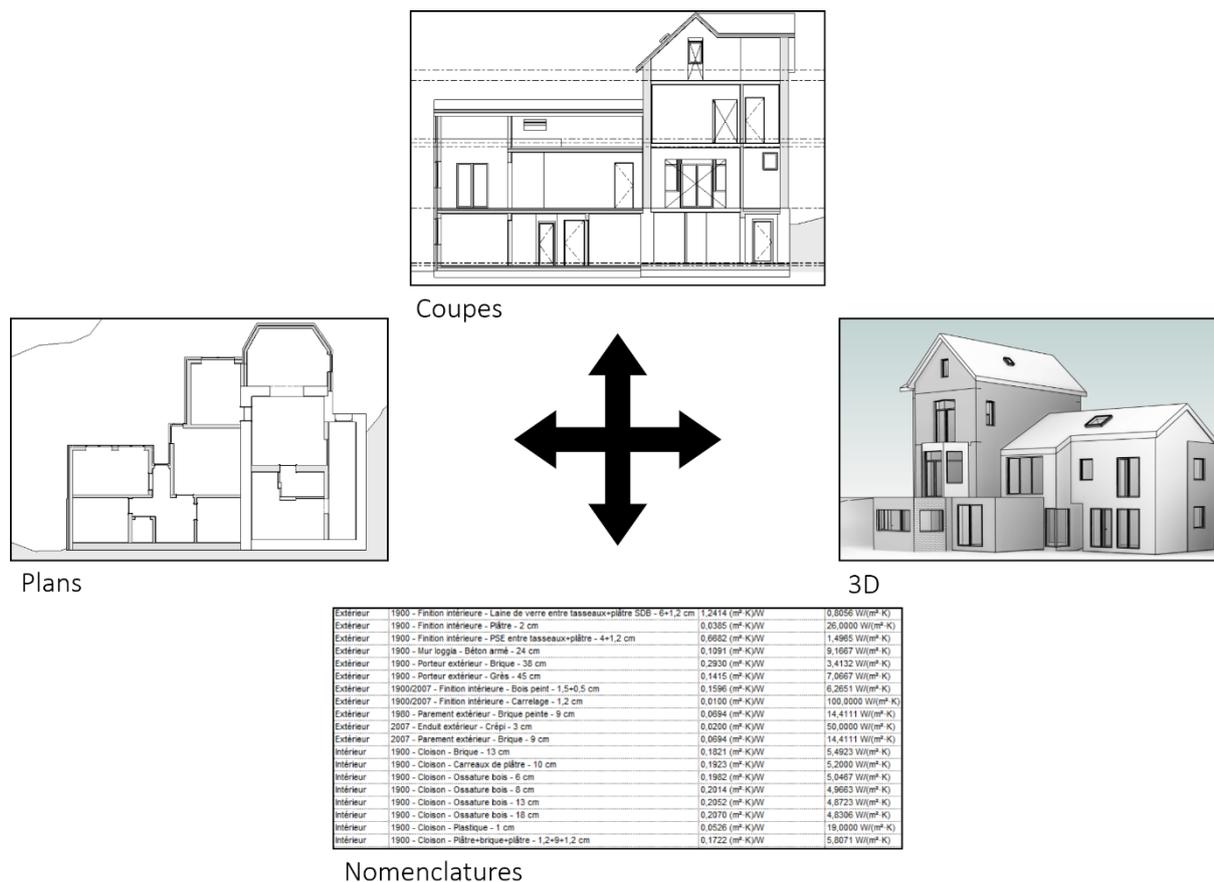


Figure 3 – Une modification d'un élément du modèle dans n'importe quelle vue mettra à jour toutes les autres (Adapté de Kensek, 2015)

Enfin, contrairement à un modèle 3D qui ne sert qu'à visualiser graphiquement un projet (Eastman *et al.*, 2011), la maquette numérique contient quant à elle des informations qui vont pouvoir être extraites ou exploitées à des fins d'analyses et de simulations (Figure 4). Elle forme ainsi une véritable base de données qui peut être échangée entre les différents intervenants d'un projet (Comité technique BIM & ICT, 2018).

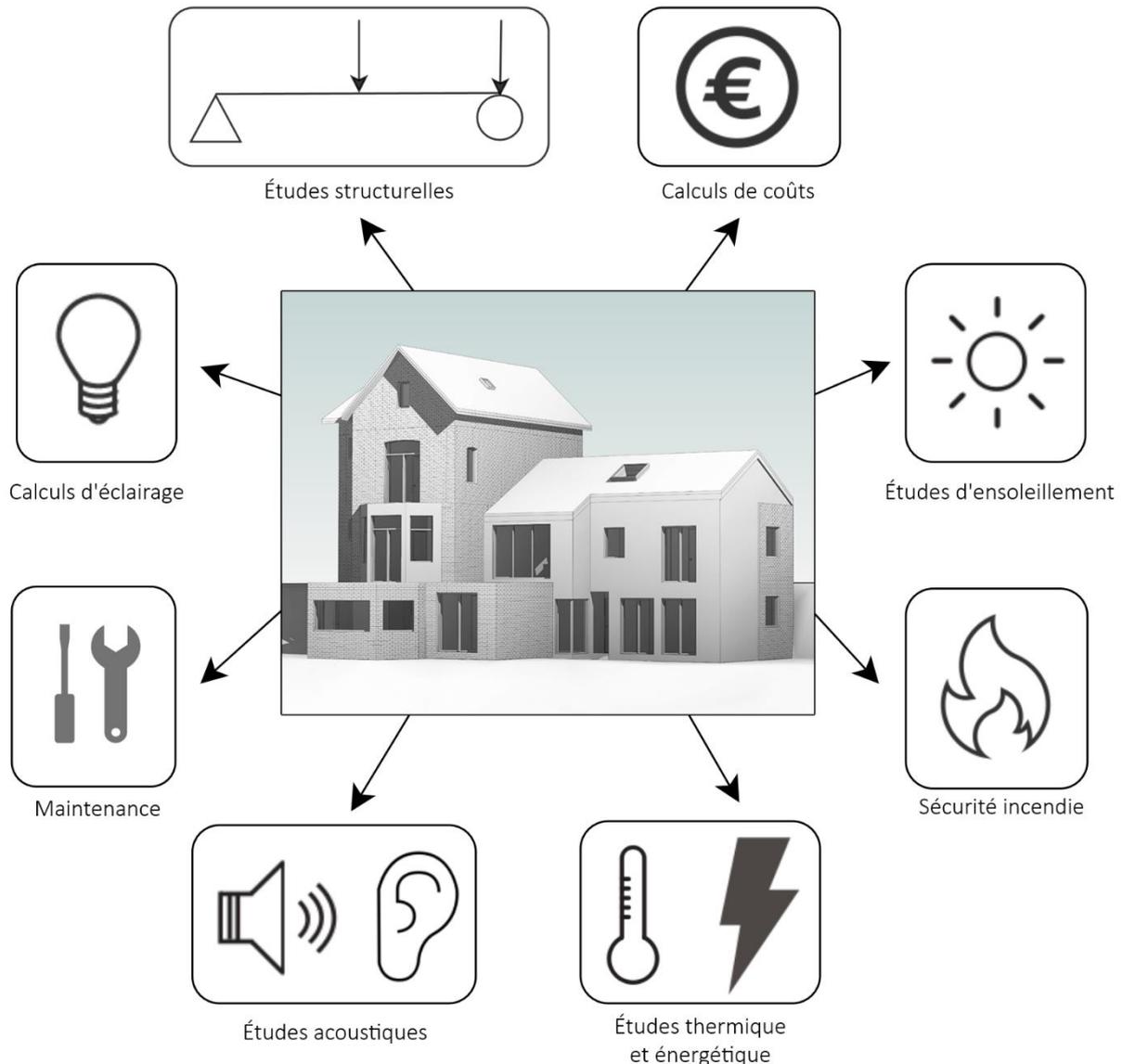


Figure 4 - Exemples d'analyses à partir du modèle BIM (Adapté de BIMportal, 2018)

#### 2.4.2. La collaboration et la transmission de données

La collaboration et l'échange d'informations constituent les piliers du BIM et reposent sur un principe primordial : l'**interopérabilité**. D'après Eastman *et al.* (2011), cette notion se définit comme la capacité d'échanger des informations entre différentes applications sans qu'il n'y ait de perte de données impliquant des ressaisies ou des modifications manuelles.

En effet, le BIM en tant que « Building Information Modeling » n'est pas un processus unique reposant sur l'utilisation d'un seul logiciel qui inclurait l'ensemble des fonctionnalités nécessaire à la réalisation de tâches spécifiques (Arayici, 2015). Au contraire, le BIM repose sur le partage d'informations entre les acteurs du projet tout au long de son cycle de vie et intègre de nombreux processus transversaux

(Kensek, 2015). Il nécessite donc l'utilisation d'outils variés dont chacun produit un résultat spécifique (détection de collisions, estimation des coûts, analyse énergétique,...) (Arayici, 2015 ; Eastman *et al.*, 2011).

L'interopérabilité a toujours été un enjeu capital pour le secteur de la construction. En témoigne la figure 5, dont la première version a été mise au point par Matti Hannus en 1987. Ce schéma illustre l'analogie des « Iles de l'Automatisation ». Chaque île correspond aux domaines de l'architecture, de l'ingénierie ou de la construction auxquels sont associées plusieurs applications. Cependant, ces dernières reposent rarement sur une approche intégrée, ce qui explique les écarts visibles entre les différentes îles. Ce manque d'intégrité s'explique par la prolifération et la non-compatibilité des logiciels utilisés pour réaliser chaque tâche spécifique, ce qui a pour conséquence d'entraver les échanges d'informations entre les différents domaines de la construction. La ligne pointillée entourant les îles correspond au moment où toutes les tâches liées aux différents domaines seront combinées en une terre commune (Arayici, 2015).

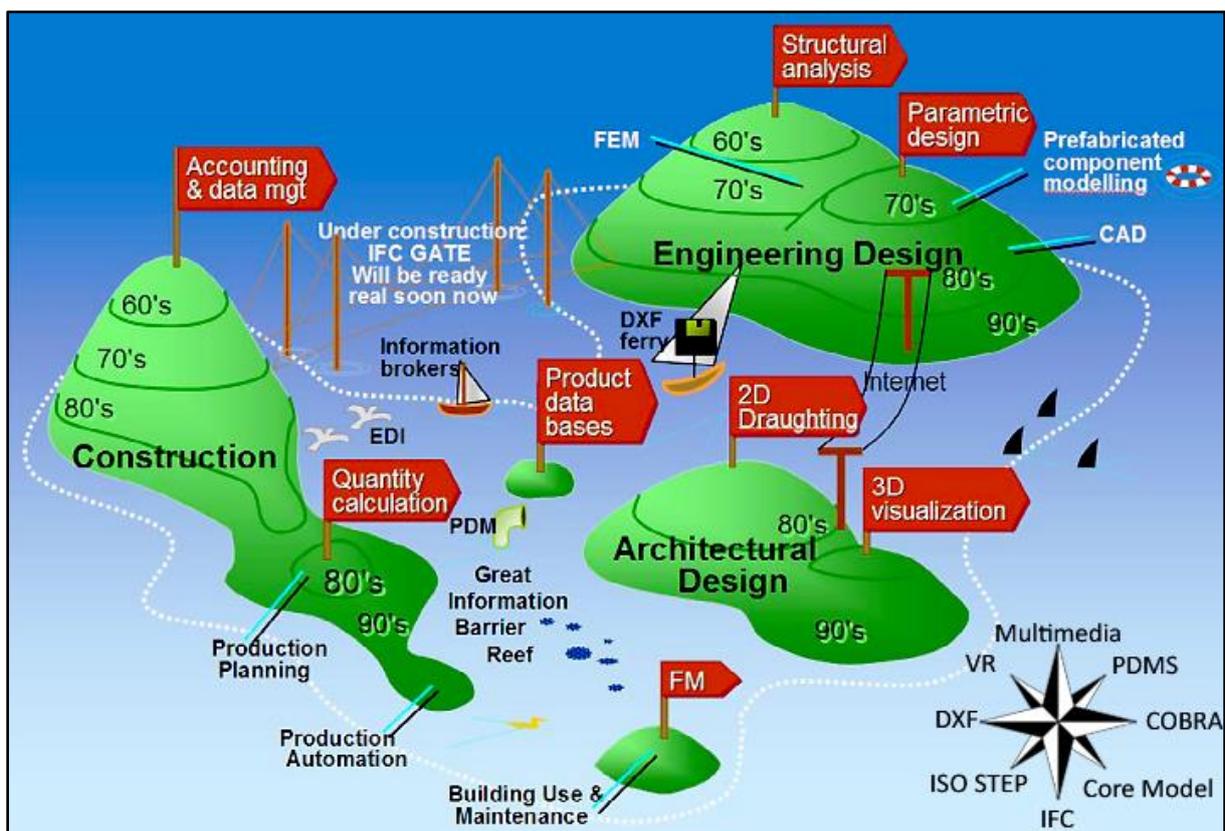


Figure 5 - Iles de l'automatisation (Adapté de Arayici, 2015)

Pour pouvoir échanger et traduire les informations d'un logiciel à l'autre et ainsi relier ces différentes îles entre elles, des méthodes de travail basées sur l'*Open BIM* se développent. Ce principe repose sur l'échange de modèles créés à l'aide de logiciels distincts via des formats de fichiers ouverts (Rasking & Decroos, 2017). Ces derniers se définissent comme des « *formats basés sur des standards ouverts, dont les spécifications sont publiées et documentées, de sorte que tout fournisseur ou développeur peut en assurer la compatibilité avec son logiciel* » (Comité technique BIM & ICT, 2018).

L'IFC est actuellement le format ouvert le plus utilisé. Il est représenté sur la figure 5 sous la forme d'un pont illustrant que son développement est toujours en cours. Développé par l'organisation BuildingSMART, l'IFC, qui se traduit en anglais par « Industry Foundation Class » est « *un modèle conceptuel de données orienté objet* » (Ferrière, 2018). En d'autres termes, le format IFC détaille la

structuration des informations d'un projet en utilisant des classes d'objets qui peuvent représenter des éléments individuels ou des relations (Ferriès, 2018).

Les processus d'échanges et de collaboration entre les acteurs d'un projet peuvent être définis dans des documents spécifiques : le protocole et le plan d'exécution BIM.

Le **protocole BIM belge** est le document contractuel de référence au niveau national qui regroupe les conventions et les objectifs en matière de collaboration. Elaboré et publié en février 2018 par le Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) en collaboration avec le Cluster BIM, ce document joue le rôle de « cahier des charges » et a pour but de coordonner et d'uniformiser l'implémentation du BIM dans les projets de construction (CSTC & Cluster BIM, 2018).

Ce document regroupe les aspects organisationnels, techniques et juridiques du projet et se divise en huit parties distinctes synthétisées dans le tableau 1 (CSTC & Cluster BIM, 2018) :

Tableau 1 - Résumé des chapitres du protocole BIM belge

SECTION	DESCRIPTION
1. Termes et définitions	Cette section regroupe les définitions des terminologies utilisées dans le protocole de manière à rendre univoque leur compréhension et leur interprétation.
2. Contexte du protocole BIM	Ce chapitre décrit la portée et le contenu général du protocole BIM, liste les annexes qui lui sont jointes (tableaux LOD, schéma de processus BIM, organigramme BIM,...) et donne des informations supplémentaires quant à l'interprétation, la hiérarchisation et la modification du protocole et du plan d'exécution BIM.
3. Informations relatives au projet	Cette section identifie les données générales du projet (nom, code, maître d'ouvrage, géolocalisation,...) ainsi que les intervenants et leur discipline. Elle donne également un aperçu de la planification du projet et de ses étapes.
4. Objectifs	Cette partie décrit les intentions et les objectifs en matière de BIM. Ceux-ci doivent respecter les exigences du maître d'ouvrage et servir de cadre de référence au contenu du protocole.
5. Informations à échanger	Ce chapitre hiérarchise et liste les analyses et livrables attendus ainsi que les dispositions applicables à chacun d'eux (contenu minimum, logiciel, version et format). Il donne également des informations concernant la propriété intellectuelle des modèles et leur diffusion.
6. Processus BIM et gestion des informations	Cette partie définit les dispositions en matière d'échange, de coordination, de modification de modèles et de contrôle de leur qualité. Elle contient également une description des réunions BIM effectuées tout au long du projet et des parties prenantes.
7. Aperçu des tâches et des responsabilités liées au BIM	Cette partie définit les tâches et responsabilités liées au BIM de l'équipe de projet, du maître d'ouvrage et du <i>BIM process manager</i> .
8. Signature du protocole	Cette section contient la signature de chaque partenaire de projet et du maître d'ouvrage. Il est nécessaire de faire signer le protocole par l'ensemble des intervenants en début de projet afin que celui-ci devienne un document contractuel.

La figure 6 illustre les acteurs du projet impliqués dans la rédaction et l'application des conventions contenues dans le protocole BIM belge. Une distinction est faite entre type de contrat classique - dans lequel la conception et l'exécution sont confiées à des acteurs distincts à des moments distincts - et intégré, dans lequel la conception et l'exécution sont confiées au même moment à l'équipe du projet.

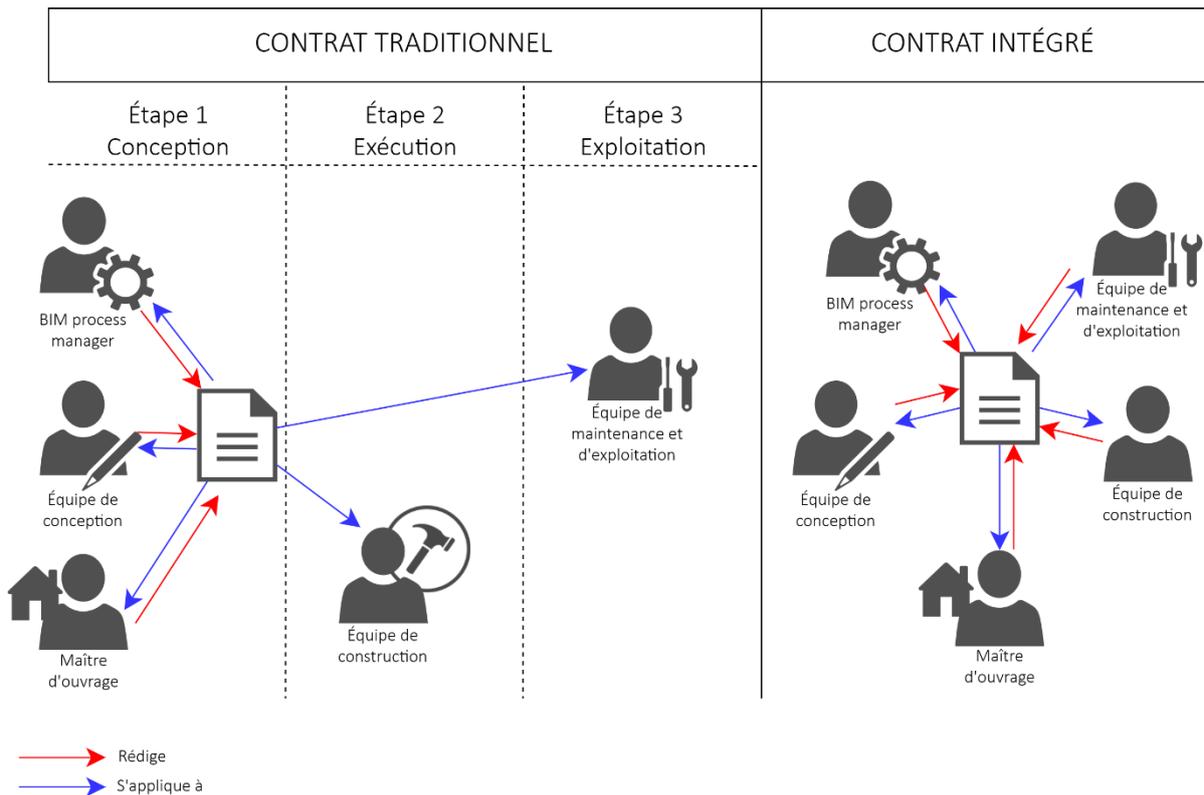


Figure 6 - Acteurs impliqués dans la rédaction et l'application du protocole BIM selon le type de contrat (Adapté de Comité technique BIM & ICT, 2018)

Le protocole BIM est complété par le **plan d'exécution BIM**, un document évolutif décrivant la manière dont les dispositions du protocole doivent être appliquées dans la pratique. Il s'agit d'une sorte de plan qualité qui guide la collaboration entre les partenaires du projet et est susceptible d'être évalué et mis à jour (Comité technique BIM & ICT, 2018).

Le Plan d'Exécution sert ainsi à décrire les principes de modélisation, les logiciels utilisés, les responsabilités des intervenants, les livrables à fournir, la structuration et le contenu des modèles ou encore les niveaux de développement à atteindre (Computer Integrated Construction Research Program, 2010 ; Massachusetts Institute of Technology, 2016).

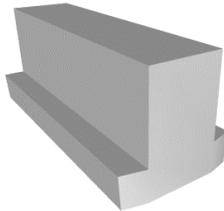
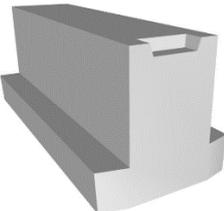
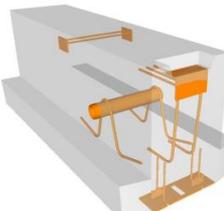
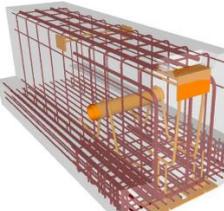
### 2.4.3. Les LOD

Derrière l'acronyme LOD se cache la terminologie « Level Of Development » ou « Niveau de développement ». D'après la définition donnée par l'Institut Américain des Architectes (AIA, 2013), cette notion décrit « *les données minimales dimensionnelles, spatiales, quantitatives, qualitatives et autres contenues dans un élément de la maquette numérique pour répondre aux usages autorisés associés à ce niveau de développement.* » En d'autres termes, le niveau de développement fait référence à la quantité et au degré de fiabilité des informations graphiques et non graphiques associées à un élément du modèle (Rasking & Decroos, 2017).

Bien qu'il soit défini par la même abréviation, le « Niveau de développement » ne doit pas être confondu avec le « Niveau de Détail » qui fait état de la quantité d'informations géométriques associée à un élément du modèle sans prendre en compte leur degré d'exhaustivité (Rasking & Decroos, 2017).

Le BIMForum (2017) identifie six niveaux de développement allant du LOD 100 au LOD 500. Leurs caractéristiques sont reprises dans le tableau 2 :

Tableau 2 - Caractéristiques des niveaux de développement (Adapté du BIMForum, 2017)

<p>LOD 100 CONCEPT</p>	<p>L'élément du modèle n'est pas représenté géométriquement mais est défini par un symbole ou par une information associée à un autre élément du modèle.</p>	
<p>LOD 200 CONCEPTION SCHÉMATIQUE</p>	<p>L'élément du modèle est une représentation géométrique générique et peut contenir des informations non-graphiques approximatives.</p>	
<p>LOD 300 CONCEPTION DÉTAILLÉE</p>	<p>L'élément du modèle est une représentation géométrique qui se caractérise par une forme, des dimensions, un emplacement et une orientation spécifiques. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.</p>	
<p>LOD 350 CONSTRUCTION</p>	<p>L'élément du modèle est une représentation géométrique qui se caractérise par sa forme, ses dimensions, son emplacement, son orientation et ses relations spécifiques avec d'autres éléments de construction. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.</p>	
<p>LOD 400 FABRICATION ET ASSEMBLAGE</p>	<p>L'élément du modèle est représenté de manière suffisamment détaillée et précise pour pouvoir être fabriqué.</p>	
<p>LOD 500 POST- CONSTRUCTION</p>	<p>L'élément du modèle est représenté tel qu'il a été construit. Des informations non-graphiques lui sont également attachées.</p>	

Le niveau de développement à atteindre est défini pour chaque étape du projet et dépend directement du/des usage(s) BIM fixés au départ.

#### 2.4.4. Les possibilités d'usages de la maquette numérique

Un cas d'usage BIM se définit comme « *une procédure d'implémentation du BIM durant le cycle de vie d'un projet dans le but d'atteindre un ou plusieurs objectifs spécifiques* » (Kreider & Messner, 2013).

Le Plan d'Exécution BIM développé par l'Université de Pennsylvanie identifie 25 cas d'usage du BIM dans le secteur de la construction (Figure 7). Ceux-ci sont classés par phase et présentent des temporalités spécifiques en fonction de chaque projet (Computer Integrated Construction Research Program, 2010).

Le protocole BIM belge ne fait quant à lui état que des usages principaux suivants (CSTC & Cluster BIM, 2018) :

- La coordination et le contrôle du modèle :
  - o Détection de conflits
  - o Contrôle du programme des exigences définies par le maître d'ouvrage (surface par fonction)
- La modélisation et la documentation :
  - o Situation existante
  - o Situation projetée
  - o Modèle du projet tel qu'il sera construit
  - o Modèle du projet tel qu'il a été construit
- L'extraction de dessins 2D
- L'extraction des quantités
- Les analyses (stabilité, énergie, acoustique, éclairage, ...)
- La planification du projet dans le temps
- Le calcul des coûts

Une enquête mondiale réalisée par la société américaine McGraw Hill Construction (2014) a révélé que, parmi les 25 applications BIM, la coordination 3D entre les disciplines et la visualisation des modèles de conception sont les cas d'usage les plus courants en phase de pré-construction (Figure 7). L'utilisation du BIM est cependant relativement restreinte pour des analyses et des simulations. Dans le secteur énergétique qui constitue le cas qui nous intéresse dans ce travail, la fréquence d'usage du BIM et de la maquette numérique atteint à peine 25% (Kreider, Messner & Dubler, 2010).

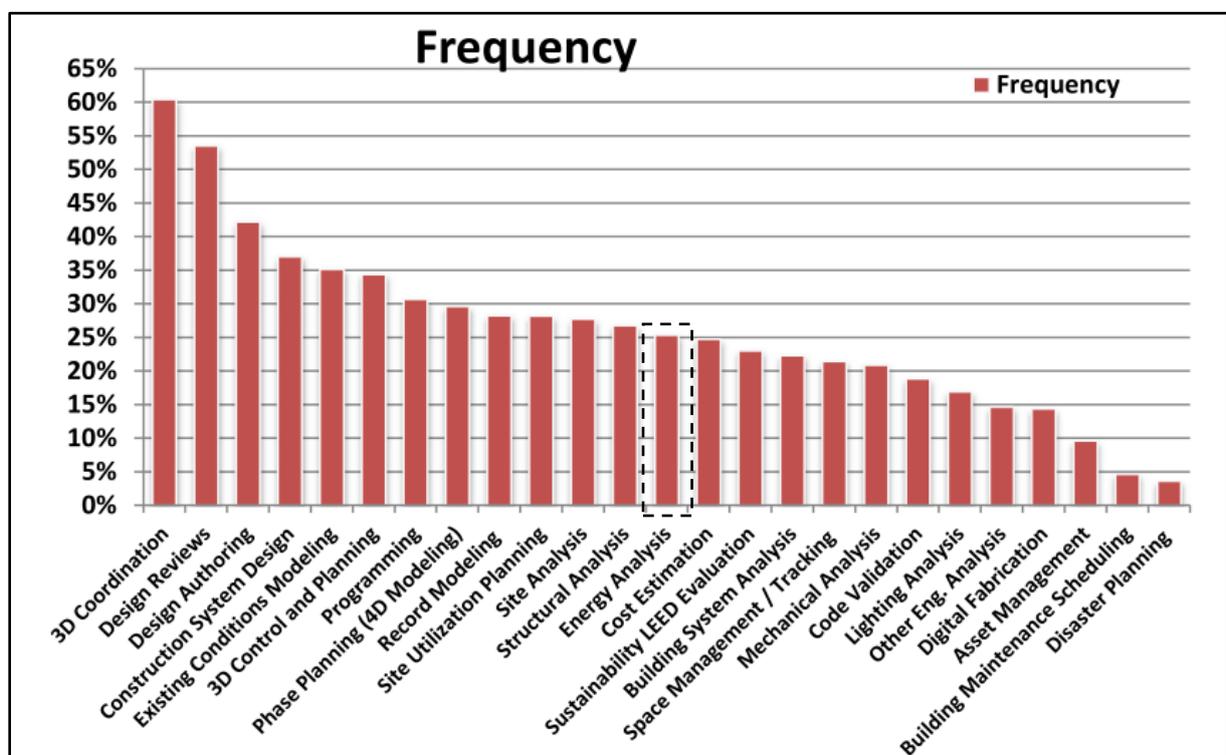


Figure 7 - Fréquence de mise en œuvre de chaque usage BIM (Source : Kreider, Messner & Dubler, 2010)

L'étude menée par Kreider *et al.* (2010) a toutefois mis en évidence un paradoxe entre la fréquence de mise en œuvre et le bénéfice perçu de certains cas d'usage (Figure 8). En effet, la majorité de ceux-ci

sont perçus comme positifs par les répondants alors qu'ils ne sont pas fréquemment mis en œuvre. Les principales raisons avancées pour expliquer leur faible application sont les problèmes d'interopérabilité qui sont la conséquence de l'utilisation de formats de fichiers différents ainsi que la résistance de l'industrie de la construction pour l'innovation (Beazley, Heffernan & McCarthy, 2017).

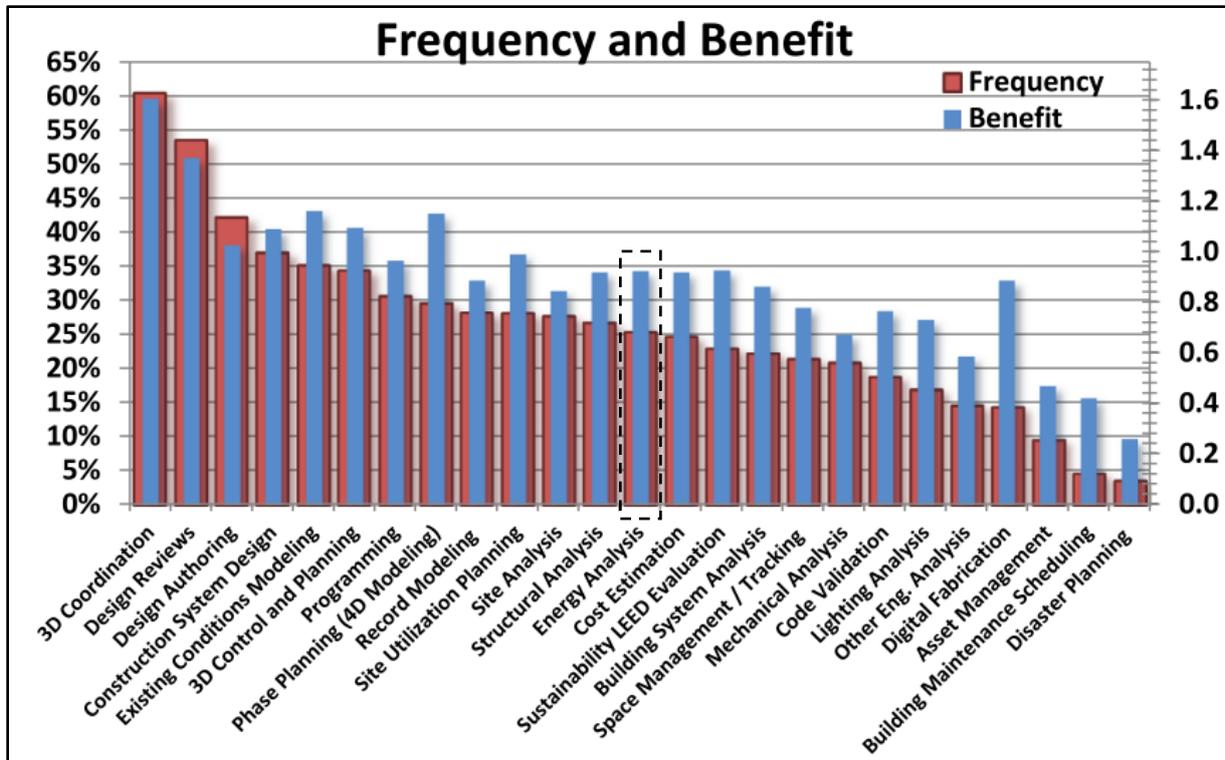


Figure 8 - Relation entre fréquence de mise en œuvre et bénéfice perçu de chaque usage BIM (Source : Kreider et al., 2010)

## 2.5. Le numérique au service de la transition énergétique du bâtiment

### 2.5.1. La rénovation dans le secteur de la construction en Belgique

La rénovation est un domaine particulier du secteur de la construction car elle fait référence à une multitude de termes et de notions différents : restauration, réhabilitation, modernisation, ... Elle peut ainsi se définir comme « l'ensemble des mesures de construction appliquées aux bâtiments existants » (Fisch et al., 2012).

Ce grand nombre de termes s'explique, d'une part, car l'ampleur des interventions sur le bâti existant peut varier très largement. D'autre part, car les mesures de rénovation d'une substance bâtie peuvent viser à améliorer ses caractéristiques esthétiques, fonctionnelles ou techniques (Di Mascio & Wang, 2013 ; Fisch et al., 2012).

De manière générale, le défi majeur des rénovations de bâtiments existants est lié à la gestion des informations qui les composent. En effet, les nombreux éléments et matériaux qui les constituent, leurs affectations diverses et les exigences auxquels ils sont soumis rendent l'analyse des constructions existantes complexe (Di Mascio & Wang, 2013).

En outre, la documentation disponible sur l'existant est généralement difficilement accessible. Si elle est disponible, les informations qu'elle contient sont souvent insuffisantes de sorte que les architectes

doivent nécessairement interpréter certaines données et émettre des hypothèses (Di Mascio & Wang, 2013 ; Fisch *et al.*, 2012).

La rénovation occupe une place de plus en plus importante dans le secteur de la construction en Belgique. Comme l'illustre le tableau 3 ci-dessous, le nombre de permis de bâtir délivrés entre 2011 et 2016 pour la rénovation de bâtiments résidentiels existants est globalement plus élevé que celui des nouvelles constructions (Direction générale Statistique, 2017).

Tableau 3 - Nombre de permis délivré pour les rénovations et les nouvelles constructions en Belgique entre 2011 et 2016 (Source : Direction générale Statistique, 2017)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Nombre de nouveaux bâtiments résidentiels	23 632	24 774	23 862	25 553	21 920	23 052
Nombre de transformations de bâtiments résidentiels	27 017	26 561	27 280	27 437	28 174	27 306

Les rénovations visant à améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants sont actuellement les plus courantes (Fisch *et al.*, 2012).

En Belgique, l'industrie de la construction est responsable de 50% des consommations des ressources naturelles extraites et de 35% des émissions de gaz à effet de serre. La consommation en énergie primaire pour le chauffage résidentiel est également 70% plus élevée que d'autres pays européens (Verhoeven, 2009, cité par Attia & Ruellan, 2016).

Cette surconsommation s'explique d'une part par l'âge avancé du parc immobilier existant (Verhoeven, 2009, cité par Attia & Ruellan, 2016). En Wallonie par exemple, seuls 19,9 % des bâtiments ont été construits après 1981 (Direction générale Statistique, 2017). D'autre part, la proportion importante de logements unifamiliaux et une moindre pénétration de l'amélioration des performances énergétiques entraînent des consommations en énergie supérieures à celles d'autres pays européens (Verhoeven, 2009, cité par Attia & Ruellan, 2016). La rénovation du bâti existant présente donc un important potentiel de diminution de la consommation en énergie primaire et peut apporter des bénéfices sociaux (amélioration du confort intérieur, maintenance, limitation de la précarité énergétique, ...) et économiques (diminution des coûts, création d'emplois, ...) (Attia & Ruellan, 2016).

Préalablement à tous travaux de rénovation, il est nécessaire d'analyser l'état actuel du bâtiment existant. Le diagnostic peut être établi sur base d'un examen constructif, de l'étude des documents d'archive, de relevés, de prélèvements sur place ou d'audits énergétiques (Fisch *et al.*, 2012).

### 2.5.2. Les outils de calcul énergétique

Pour obtenir un diagnostic sur les performances énergétiques d'un bâtiment existant, plusieurs méthodes de calcul peuvent être utilisées. Dans cette section, nous distinguons deux outils principaux : les outils certificateurs exploités dans le cadre de la réglementation thermique et les outils de simulation énergétique non réglementaires.

#### Les outils certificateurs

En Wallonie, tout bâtiment est soumis aux exigences de la réglementation sur la Performance Énergétique des Bâtiments (PEB). Celle-ci est entrée en vigueur à partir du 1<sup>er</sup> janvier 2008 et vise à diminuer leur consommation en énergie primaire tout en maintenant le confort intérieur pour les

occupants. Outre le respect des exigences PEB pour l'ensemble du stock bâti, cette réglementation prévoit également une procédure réglementaire applicable à tous travaux nécessitant l'obtention d'un permis d'urbanisme (CIFIUL & DGO4, 2015).

Pour concevoir des bâtiments énergétiquement performants, la réglementation PEB définit trois aspects auxquels il faut porter une attention particulière : l'enveloppe, les systèmes et équipements de chauffage, d'eau chaude sanitaire et d'éclairage et les énergies utilisées (CIFIUL & DGO4, 2015).

En région wallonne et en région de Bruxelles-Capitale, la performance énergétique d'un bâtiment est évaluée à l'aide d'un logiciel spécifique qui intègre une méthode de calcul réglementaire variable suivant l'affectation de l'unité PEB (résidentiel, bureaux et services, industriel). Dans le cas d'une unité résidentielle, le logiciel PEB réalise un bilan énergétique sur base des paramètres repris dans le tableau 4 :

Tableau 4 - Résumé du bilan énergétique d'une unité PEB résidentielle (Adapté de CIFIUL & DGO4, 2015).

	<i>Pertes par transmission à travers l'enveloppe</i>
	<i>+ Déperditions par ventilation</i>
	<i>+ Déperditions par in/exfiltration</i>
	<i>- Apports solaires</i>
	<i>- Apports internes</i>
	<i>= Besoins nets en énergie de chauffage</i>
	<i>+ Pertes du système de production de chauffage</i>
	<i>+ Besoins nets en énergie pour l'eau chaude sanitaire</i>
	<i>+ Pertes du système de production d'eau chaude sanitaire</i>
	<i>- Solaire thermique éventuel</i>
	<i>+ Consommation d'énergie pour les auxiliaires</i>
	<i>+ Consommation d'énergie pour le refroidissement</i>
	<i>= Consommation finale d'énergie</i>
	<i>+ Pertes de transformation</i>
	<i>- Autoproduction d'électricité en énergie primaire (cogénération ou panneaux photovoltaïques)</i>
	<i>= Consommation caractéristique en énergie primaire de l'unité PEB</i>

La performance énergétique est ensuite évaluée suivant six indicateurs distincts (CIFIUL & DGO4, 2015 ; Service Public de Wallonie, 2017) :

- Le coefficient de transmission thermique  $U_{max}$  : cet indicateur représente la quantité de chaleur qui traverse  $1 \text{ m}^2$  d'une paroi, par seconde et par écart de température de  $1\text{K}$  entre l'environnement intérieur et extérieur. Par conséquent, plus sa valeur est faible, plus la paroi est performante. Les exigences de ce coefficient se sont renforcées depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017 et sont limitées aux valeurs reprises dans le tableau 5 :

Tableau 5 - Valeurs maximales admissibles du coefficient de transmission thermique U (Source : Service Public de Wallonie, 2017)

ÉLÉMENT DE CONSTRUCTION	$U_{max}$ [W/m <sup>2</sup> K]
PAROIS DÉLIMITANT LE VOLUME PROTÉGÉ	
Toitures et plafonds	0,24
Murs	0,24
Planchers	0,24
Portes et portes de garage	2
Fenêtres :	
- Ensemble châssis et vitrage	1,5
- Vitrage uniquement	1,1
PAROIS ENTRE DEUX VOLUMES PROTÉGÉS SITUÉS SUR DES PARCELLES ADJACENTES	1
PAROIS OPAQUES À L'INTÉRIEUR DU VOLUME PROTÉGÉ OU ADJACENTES À UN VOLUME PROTÉGÉ SUR LA MÊME PARCELLE	1

- Le niveau d'isolation thermique globale K : cet indicateur donne une idée de la performance énergétique globale de l'enveloppe du bâtiment. Sa valeur est calculée sur base de deux paramètres (Gouvernement wallon, 2017) :
  - o La compacité du bâtiment qui représente le rapport entre le volume protégé et la surface totale de déperdition  $C = \frac{V}{A_t}$  [m]
  - o Le coefficient moyen de transmission thermique  $U_m = \frac{\sum U_j * A_j * a_j + \sum \Psi_{ij} * L_j}{A_t}$  [W/m<sup>2</sup>K] où  $a_j$  représente le facteur de réduction de température,  $\Psi_{ij}$  [W/mK] est le coefficient de transmission thermique linéique du pont thermique linéaire ij et  $L_j$  est la longueur du pont thermique linéaire j déterminée sur base des dimensions extérieures.
 La valeur K est ensuite déterminée de la manière suivante (Gouvernement wallon, 2017) :
  - o Si  $C \leq 1\text{m} \rightarrow K = U_m * 100$
  - o Si  $1 \text{ m} < C < 4\text{m} \rightarrow K = \frac{U_m * 300}{C + 2}$
  - o Si  $C \geq 4\text{m} \rightarrow K = U_m * 50$
- Le niveau de consommation d'énergie primaire  $E_W$  : il représente le rapport entre la consommation annuelle en énergie primaire de l'unité PEB pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire, les auxiliaires et le refroidissement en déduisant l'énergie fournie par les systèmes photovoltaïques ou de cogénération et une consommation annuelle d'énergie primaire de référence multiplié par 100 (Gouvernement Wallon, 2017). Pour les unités résidentielles, la consommation de référence correspond à un bâtiment présentant les caractéristiques suivantes (CIFFUL & DGO4, 2015) :
  - o Surface de plancher chauffée  $A_{ch}$ , surface de déperdition  $A_t$ , volume protégé V et usage identiques à l'unité PEB étudiée ;
  - o Isolation : Niveau K45 ;
  - o Ventilation : Système mécanique simple flux (type C) ;
  - o Étanchéité à l'air : Débit de fuite  $v_{60} = 8 \text{ m}^3/\text{hm}^2$  ;
  - o Chauffage : Chaudière mazout basse température présentant un rendement global de 0,728 ;

- Eau chaude sanitaire : Préparation instantanée et rendement de production de 0,5 ;
- Apports solaires : Surface des fenêtres égale à 15% de la surface totale de plancher chauffée et répartition uniforme pour chaque orientation ;
- Refroidissement : Aucun.
- La consommation spécifique annuelle en énergie primaire  $E_{spec}$  : il s'agit du rapport entre la consommation annuelle en énergie primaire d'une unité PEB  $E_W$  et la surface totale de plancher chauffée ou climatisée de cette unité  $A_{ch}$  (Gouvernement Wallon, 2017).
- L'indicateur de surchauffe  $I_{overh}$  : sa valeur est déterminée par les gains de chaleur normalisés excédentaires dont l'unité est le Kelvin heure [Kh]. Cet indicateur dépend de l'inertie thermique de l'unité PEB et du rapport entre les gains (solaires et internes) et les pertes (par transmission et ventilation) (Gouvernement Wallon, 2017).
- Les exigences de ventilation V.

Il est à noter que les critères PEB à respecter diffèrent en fonction de la nature des travaux et de la destination de l'unité PEB. Le tableau 6 détaille les exigences en vigueur pour une unité résidentielle :

Tableau 6 - Exigences PEB en vigueur pour des unités résidentielles (Source : Service Public de Wallonie, 2017)

NATURE DES TRAVAUX	DÉFINITIONS	EXIGENCES				
		Isolation	Ventilation	Niveau $E_W$	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$I_{overh}$ [kh/an]
BÂTIMENTS NEUFS OU ASSIMILÉS	« Assimilé » fait référence à des « travaux de reconstruction ou d'extension visant à : - Créer un volume protégé > 800 m <sup>3</sup> ; - Doubler le volume protégé existant ; - Remplacer les installations et 75% de l'enveloppe. »	- K35 - $U_{max}$ - Nœuds constructifs	Dispositifs de ventilation - Annexe C2 de l'arrêté	≤ 65	≤ 115	< 6500
RÉNOVATION SIMPLE	« Actes ou travaux de transformation autres que des travaux de rénovation importants, qui sont de nature à influencer la performance énergétique du bâtiment. »					
RÉNOVATION IMPORTANTE	« Bâtiments faisant l'objet de travaux de rénovation portant sur au moins 25% de leur enveloppe. »	- $U_{max}$ des éléments modifiés - Nœuds constructifs	Amenées d'air - Annexe C2 de l'arrêté			
CHANGEMENT D'AFFECTATION (CHAUFFÉ → CHAUFFÉ)	« Bâtiments ou parties de bâtiments qui, lors du changement d'affectation, consomment de l'énergie pour les besoins des personnes, contrairement à la situation antérieure. »					

CHANGEMENT D'AFFECTATION (NON CHAUFFÉ → CHAUFFÉ)	« Bâtiments ou parties de bâtiments qui, lors du changement d'affectation, consomment de l'énergie pour les besoins des personnes, contrairement à la situation antérieure. »	- K65 - $U_{max}$ - Nœuds constructifs	Dispositifs de ventilation - Annexe C2 de l'arrêté			
---	---	--	---	--	--	--

Il est important de mentionner que la méthode PEB calcule une consommation théorique dont la valeur n'est pas représentative de l'énergie réellement consommée. En effet, pour pouvoir comparer les bâtiments entre eux et avec la réglementation, la méthode est basée sur des conditions climatiques standards et ne prend pas en compte le nombre et le comportement des occupants. En outre, celle-ci est exprimée en énergie primaire, c'est-à-dire en énergie directement extraite de la terre. Elle prend donc en compte l'énergie consommée et l'énergie de transformation nécessaire sa production (CIFIUL & DGO4, 2015).

Voici les hypothèses émises par la méthode PEB pour un bâtiment résidentiel (CIFIUL & DGO4, 2015) :

- Le volume protégé est maintenu à une température intérieure de 18°C pour le chauffage et de 23°C pour le refroidissement ;
- Un taux de renouvellement de l'air est pris en compte malgré l'absence d'un système de ventilation ;
- Les besoins en eau chaude sanitaire sont calculés sur base d'un forfait qui dépend du volume du bâtiment ;
- La production d'énergie solaire thermique et photovoltaïque est valorisée ;
- Les consommations d'éclairage et des équipements électroménagers ne sont pas prises en compte.

En fonction de la consommation d'énergie théorique calculée par le logiciel PEB, le bâtiment peut être classé sur une échelle de catégories afin de comparer sa performance à d'autres bâtiments (Service Public de Wallonie, 2015). Cette échelle apparaît dans le certificat PEB, un document indispensable lors de la location ou la vente d'un bien, et se représente comme sur la figure 9 :

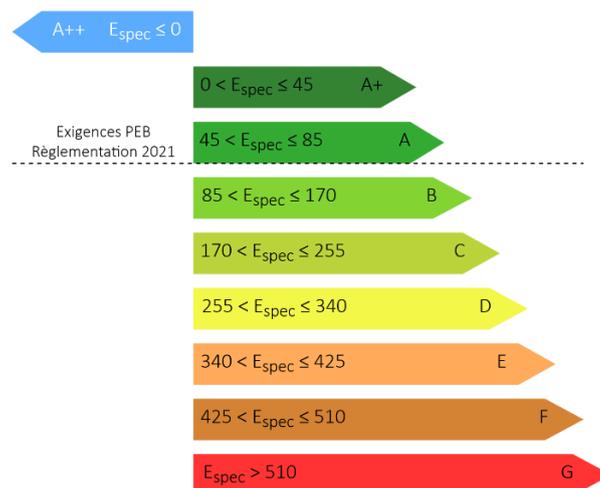


Figure 9 - Echelle des classes énergétiques

## Les outils de simulation énergétique dynamique

Contrairement au calcul PEB qui impose des hypothèses spécifiques relatives aux scénarios d'occupation, à l'éclairage ou aux températures de chauffage et de refroidissement, la simulation énergétique est totalement paramétrable pour pouvoir estimer au mieux les consommations et les besoins réels en énergie. Elle est donc basée sur des moteurs et des méthodes de calcul différents de la méthode règlementaire (Gal, 2015).

Pour effectuer une simulation énergétique, la géométrie du bâtiment doit tout d'abord être modélisée et découpée en plusieurs zones. Le projet doit ensuite être localisé pour déterminer les conditions météorologiques auquel il est soumis. L'utilisateur doit par ailleurs encoder les matériaux de l'ensemble des éléments du modèle ainsi que les équipements HVAC. Enfin, il doit définir les scénarios d'occupation, d'éclairage et d'utilisation des équipements du bâtiment (Gal, 2015).

Divers outils de simulation sont disponibles sur le marché tels que ArchiWIZARD, Clima-Win, Design Builder, Comfie Pleiades, Ecotect, IES, eQUEST ou encore Green Building Studio et possèdent leur propre méthode de calcul. Par conséquent, le choix du logiciel à utiliser repose principalement sur le degré de précision souhaité pour la simulation, le temps disponible et la phase du projet (Bradley & Krygiel, 2008). Notons que les outils qui viennent d'être cités ont la particularité d'être compatibles avec les plateformes BIM. Cela signifie que les maquettes numériques créées peuvent être en principe directement importées dans le logiciel de simulation, leur géométrie ne doit donc pas être remodelisée dans celui-ci (Bradley & Krygiel, 2008).

Dans le cadre de ce travail, nous réaliserons des simulations énergétiques à l'aide du logiciel Green Building Studio. Mis au point par Autodesk, ce service en ligne est basé sur le moteur de calcul DOE-2 et est interopérable avec les plateformes BIM, en particulier Revit. Il est principalement utilisé en phase de conception pour analyser et optimiser les performances énergétiques d'un bâtiment à partir des informations contenues dans un fichier GBXML<sup>3</sup> du modèle (Bradley & Krygiel, 2008).

Ce format de fichier a été développé pour rationaliser les échanges d'informations-bâtiment vers et à partir de modèles architecturaux ou d'ingénierie. Dans le cas d'une évaluation de la performance énergétique d'un bâtiment, il permet ainsi de récupérer certaines informations contenues dans le modèle BIM pour les transférer vers des logiciels d'analyses énergétiques (Green Building XML Schema, 2016).

Le choix s'est porté sur ce logiciel pour ses caractéristiques fonctionnelles et plus précisément pour son utilisabilité et la facilité avec laquelle gérer les informations de son interface. En effet, celui-ci intègre une représentation claire des données d'entrée et de sortie de la simulation et permet de contrôler facilement leur qualité (Attia, Beltran, Herde & Hensen, 2009). En outre, le choix de ce logiciel a été renforcé par le peu de publications scientifiques relatant son utilisation et la qualité des résultats qu'il fournit. Enfin, il a l'avantage d'être disponible gratuitement et est facilement accessible aux abonnés Autodesk.

### 2.5.3. L'implémentation du BIM aux bâtiments existants

L'implémentation du BIM aux bâtiments existants présente une série d'enjeux et de limites. Celles-ci sont liées d'une part aux caractéristiques de la substance bâtie et d'autre part, aux techniques d'acquisition des données existantes et au processus de création de la maquette numérique.

---

<sup>3</sup> Green Building eXtensible Markup Language

### **Les caractéristiques du bâti existant**

Les bâtiments existants se distinguent des constructions neuves en regard de leurs caractéristiques physiques. En effet, ils ont bien souvent subi les effets du temps et du vieillissement et peuvent présenter un grand nombre d'hétérogénéités, de déformations ou de défauts structurels (Fisch *et al.*, 2012). Ces désordres représentent par conséquent une complexité technique pour la mise en œuvre du BIM (Di Mascio & Wang, 2013).

Par ailleurs, en Europe, plus de 80 % du parc immobilier résidentiel a été construit avant 1990. L'implémentation du BIM repose donc sur l'utilisation d'une multitude de documents antérieurs complémentaires, généralement disponibles sous format papier (Schultmann, Stengel & Volk, 2014).

D'autre part, il existe une série d'incertitudes sur les données existantes. En effet, de nombreuses informations ne sont pas connues dès le début de la conception soit parce qu'elles ne sont pas disponibles, soit parce qu'elles n'ont pas encore été définies. Le choix des meilleures options de rénovation s'impose alors comme un challenge pour les architectes (Issam & Khaddaj, 2016).

### **Le processus de création de la maquette numérique**

Le procédé de création de la maquette numérique en tant que support du processus BIM est également un enjeu important pour la rénovation et se distingue d'une nouvelle construction (Schultmann *et al.*, 2014).

La conception d'un projet de bâtiment neuf est un procédé itératif durant lequel le modèle BIM évolue d'un modèle *tel que conçu* à *tel que construit*, une fois que les travaux de construction sont terminés. En revanche, dans le cas d'opérations de rénovation sur l'existant, deux cas de figure se présentent (Figure 10). Selon la disponibilité d'une maquette numérique préexistante du bâtiment, le modèle peut soit être mis à jour, soit créé à partir de zéro (Schultmann *et al.*, 2014).

Comme mentionné ci-dessus, la majorité des bâtiments existants n'a pas été modélisée numériquement suivant un processus BIM. Par conséquent, il est généralement nécessaire de créer leur maquette numérique à partir de zéro. Cependant, la qualité et la quantité d'informations préexistantes sont parfois insuffisantes pour parvenir à modéliser la situation actuelle de façon précise. Dans certains cas, il peut donc s'avérer nécessaire d'utiliser des techniques d'acquisition de l'existant pour rassembler et modéliser les conditions réelles de construction. Pour créer un modèle BIM *tel que construit* à partir de zéro, les informations topologiques des éléments de construction doivent être collectées, modélisées et complétées manuellement par des informations sur leurs propriétés. Les efforts entrepris pour modéliser l'existant sont donc beaucoup plus conséquents que dans le cas d'un projet de construction neuve (Schultmann *et al.*, 2014).

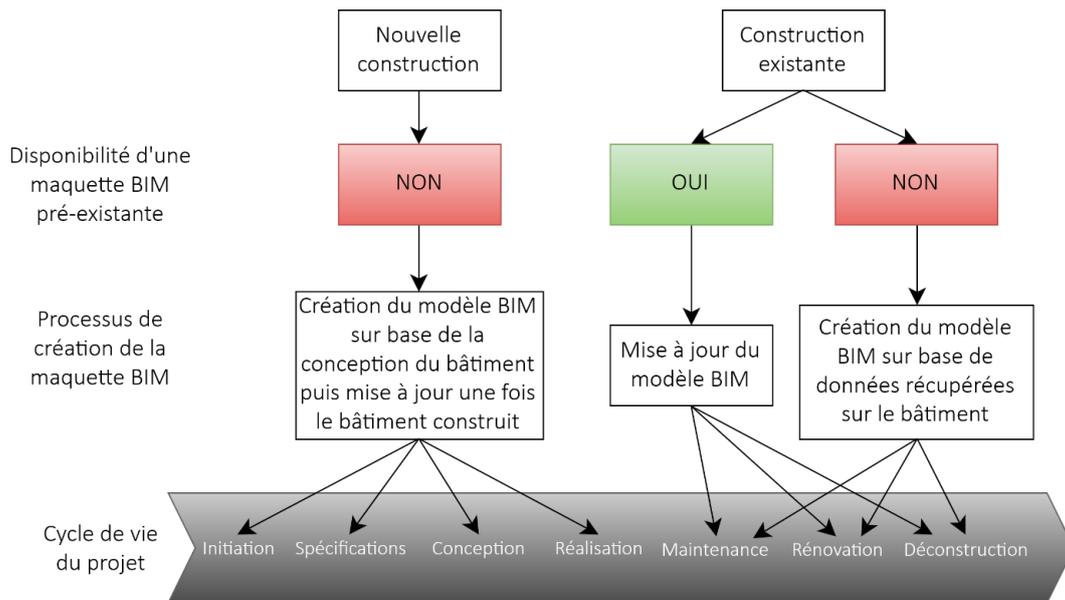


Figure 10 - Processus de création du modèle BIM pour les constructions neuves et les bâtiments existants (Adapté de Schultmann *et al.*, 2014)

### Les techniques d'acquisition des données de l'existant

Dans le cas où la documentation existante est insuffisante pour pouvoir créer le modèle du bâtiment, les données peuvent être récupérées sur ce dernier à l'aide de différentes techniques de relevé qui sont généralement combinées entre elles (Schultmann *et al.*, 2014).

Nous ne détaillerons pas ces techniques car elles ne constituent pas l'objet de cette recherche. Celles-ci sont simplement résumées à titre indicatif à la figure 11 et rassemblées en deux groupes principaux : les techniques avec et sans contact.

La majorité de ces techniques, en particulier celles basées sur la création d'un nuage de points, accumule une quantité d'informations considérable dont une grande partie est superflue. Par ailleurs, la création d'une maquette numérique sémantiquement enrichie sur base de ce nuage de points nécessite un traitement manuel chronophage qui est souvent source d'erreurs (Deneux, Joblot, Paviot & Lamouri, 2017 ; Schultmann *et al.*, 2014).

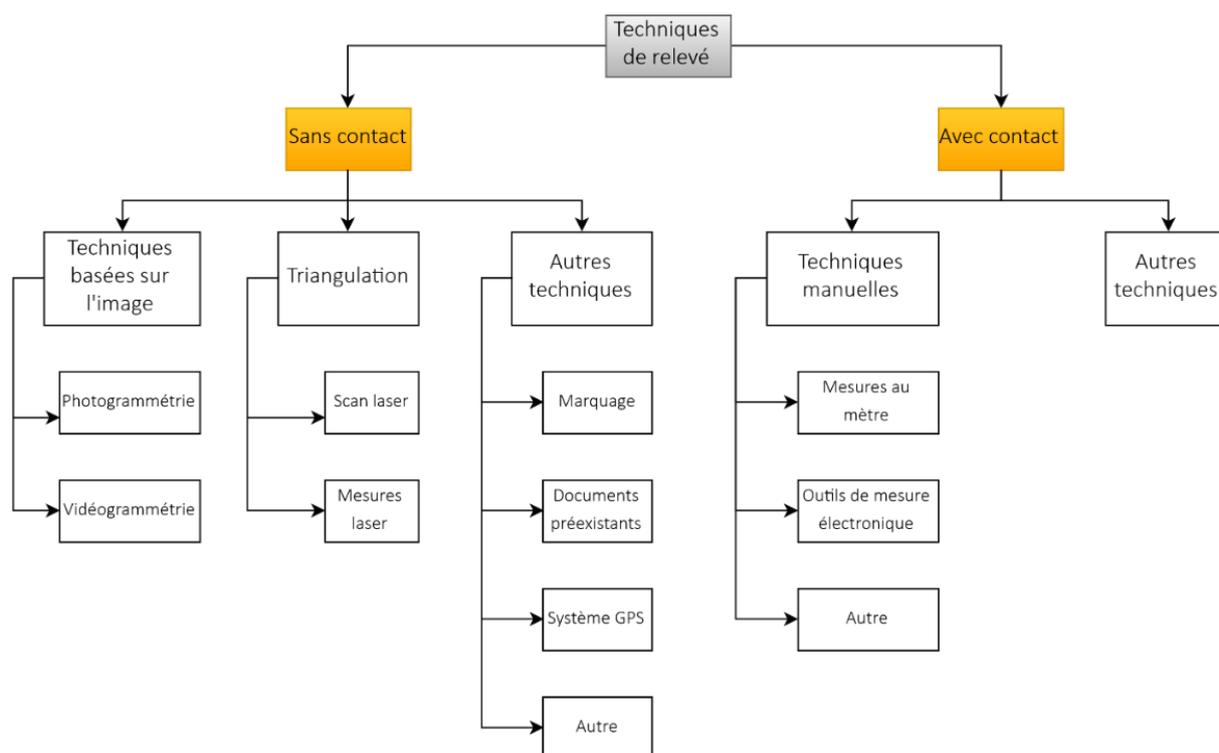


Figure 11 - Techniques de relevé de l'existant (Adapté de Schultmann *et al.*, 2014)

## 2.6. État des pratiques actuelles du BIM : rencontre avec le bureau d'architecture ASSAR

En vue d'acquérir des connaissances sur la pratique du BIM en entreprise, des interviews semi-structurées ont été menées au sein d'un bureau d'architecture : l'Atelier ASSAR Architects. Le but de ces entretiens est, d'une part, de comprendre comment le bureau implémente le BIM pour des projets de rénovation et, d'autre part, d'avoir un aperçu des flux de travail qui caractérisent les projets nécessitant des études thermiques ou énergétiques.

Fondé en 1985 par Eric Ysebrant, le bureau ASSAR, dont le siège principal se trouve à Bruxelles, est l'un des précurseurs en matière de BIM en Belgique et compte actuellement plus de 100 collaborateurs répartis à Liège, à Anvers, au Luxembourg mais aussi à Nantes en France. Ayant recours à la conception tridimensionnelle depuis 1987, c'est en 2005 que le bureau choisit de se lancer dans l'utilisation du logiciel Autodesk Revit, alors que le BIM était encore à ses prémices (Depret, 2016).

Les interviews ont été menées avec les architectes Joëlle Arte et Kamal Figuigui. Celles-ci se sont déroulées respectivement le 26 février et le 30 avril 2018 pendant une durée approximative de 45 minutes. En outre, un échange de mails a été établi avec Alexandra Dubuisson, la BIM manager du bureau bruxellois, afin d'obtenir des informations complémentaires relatives à l'utilisation du BIM pour des études énergétiques. Les questions et réponses évoquées lors des entretiens sont présentées et résumées ci-dessous.

La première question porte sur la rénovation et l'accès aux informations sur l'existant :

- « De manière générale, disposez-vous d'informations préalables lorsque vous êtes confrontés à la modélisation d'un bâtiment existant ? Si oui, quelles sont-elles ? Comment intégrez-vous ces données dans la démarche BIM ? »

Les documents existants disponibles sont généralement des plans réalisés sur Autocad ou des plans tracés à la main qu'il est nécessaire de scanner et superposer. Toutes les informations sur le bâtiment existant ne sont pas toujours connues et sont donc généralement déterminées sur base d'hypothèses. Les compositions de parois sont par exemple définies d'après les épaisseurs affichées sur les plans de l'existant et les techniques de construction de l'époque. Pour les projets de plus grande ampleur, le bureau fait appel à un géomètre afin de réaliser un scan 3D du bâtiment. D'après les architectes, cette technique est la plus efficace.

La deuxième partie est orientée vers l'aspect modélisation. Elle s'intéresse plus particulièrement aux modèles créés, aux méthodes de modélisation et aux logiciels utilisés :

- « Plusieurs modèles doivent-ils être créés dans le cas d'une rénovation ? Si oui, lesquels et pourquoi ? »

Pour les projets de rénovation, tout est modélisé dans une seule maquette structurée en trois phases distinctes : l'existant, les démolitions et les nouvelles constructions.

- « Quel(s) logiciel(s) est/sont utilisé(s) pour construire la maquette numérique de l'existant ? Si plusieurs logiciels sont utilisés, comment les données sont-elles échangées et quels types de fichiers sont créés ? »

Le logiciel Revit est généralement le plus souvent utilisé. S'il est fait appel à un géomètre pour scanner en 3D le bâtiment, le nuage de points obtenu est ensuite restitué en tout ou en partie sous le format souhaité par le bureau (Autocad, Revit ou autre).

- « Comment modélisez-vous l'enveloppe du bâtiment de manière générale ? Pourquoi ? »

Au début, le bureau modélisait les parois d'un bâtiment en une seule couche composée de plusieurs éléments. Cependant, il s'est rapidement rendu compte de l'imprécision de certains calculs, notamment des métrés. Il modélise maintenant chaque paroi suivant la technique du « monocouche » en séparant la couche porteuse des couches interne et externe de l'élément. Cette technique se base sur une modélisation « telle qu'on construit ». Lorsqu'ils reçoivent la maquette structure d'un bureau d'études stabilité par exemple, les architectes ajoutent ensuite les informations architecturales (façades et cloisons,...) dans un modèle de discipline séparé appelé « modèle architectural ». Cependant, cette technique implique une démultiplication des composants.

La dernière question est quant à elle axée sur l'exploitation du modèle pour évaluer la performance énergétique du bâtiment :

- « La maquette a-t-elle déjà servi à réaliser des études ou simulations énergétiques ? Si oui, quels logiciels de simulation sont utilisés et quels paramètres spécifiques doivent être encodés dans la maquette numérique pour réaliser cette étude ? »

Le bureau n'a encore jamais réalisé de simulation ou d'étude énergétique à partir d'une maquette numérique. Pour tous les projets, un organisme extérieur est en charge du calcul PEB. Dans certains cas, le bureau d'études ne demande pas de maquette numérique mais des plans et des coupes en Autocad uniquement.

De ces interviews, nous retenons que la construction de la maquette numérique d'un bâtiment existant implique l'utilisation de nombreux documents complémentaires et non intégrés tels que des plans bidimensionnels, des photos ou des croquis. Pour les projets plus conséquents, la technique du scanner laser est utilisée pour saisir les informations sur le bâtiment existant. Cependant, le nuage de points obtenu nécessite un traitement manuel chronophage afin d'éliminer l'information superflue.

Les dernières parties de ce questionnaire démontrent que la maquette numérique est peu voire pas exploitée pour des études thermiques et énergétiques alors qu'ASSAR est l'un des bureaux belges parmi les plus avancés dans la mise en œuvre du BIM. Les réponses des interviewés indiquent par ailleurs que les flux de travail sont encore très fragmentés entre les architectes et les bureaux d'études énergétiques. Pour pouvoir évaluer la performance du bâtiment, ces derniers passent généralement un temps considérable à ressaisir les données du projet ou à nettoyer la maquette numérique si elle est transmise.

---

# QUESTIONS DE RECHERCHE

---

### 3. QUESTIONS DE RECHERCHE

---

L'état de l'art qui vient d'être présenté a permis de mettre en lumière plusieurs points. Le premier concerne la nature fragmentée de l'industrie de la construction et les limites auxquelles ce secteur se retrouve confronté dans un contexte où la durabilité, la productivité et la rentabilité sont des enjeux capitaux. La littérature met ainsi en évidence le potentiel et les nouvelles perspectives offertes par le BIM pour pallier ces limites.

Le deuxième aspect pointe le paradoxe entre le potentiel perçu du BIM pour répondre aux enjeux de performance et sa pratique actuelle. En effet, malgré la multiplicité d'usages possible, son exploitation se limite généralement à la coordination des disciplines et à la visualisation de la conception.

Le troisième aspect abordé concerne la place prépondérante qu'occupe la rénovation en Wallonie en particulier dans le domaine de la thermique et de l'énergie. Pour ce secteur spécifique, le BIM doit faire face à de nouveaux défis relatifs à l'accessibilité aux données, à la création des modèles et aux caractéristiques du bâti existant.

Enfin, le dernier constat est relatif aux résultats des interviews effectuées au sein du bureau ASSAR Architects. Celles-ci démontrent que la maquette numérique est loin d'être pleinement exploitée pour des études énergétiques alors que le bureau est l'un des précurseurs en matière de BIM.

Suite à ces observations, ce travail de recherche s'intéresse au processus de modélisation et à l'usage de la maquette numérique dans le domaine de la rénovation énergétique. La thématique abordée porte plus précisément sur la modélisation de l'enveloppe d'un bâtiment existant et la potentialité d'usage du modèle créé pour réaliser des analyses thermiques.

Deux questions de recherche sont développées et s'énoncent comme suit :

**« Quel est le potentiel d'exploitation des informations d'une maquette numérique pour une étude thermique règlementaire dans le certificateur PEB ? »**

**« Quel est le potentiel d'exploitation d'une maquette numérique pour une étude dans un logiciel de simulation énergétique ? »**

L'étude se focalise essentiellement sur le modèle et sur l'outil qui l'a généré en vue d'évaluer le panel des possibilités et des limites de la maquette numérique pour des études énergétiques. L'aspect collaboratif ne sera donc pas étudié ici mais pourra faire l'objet de recherches postérieures à ce travail.

---

# MÉTHODOLOGIE

---

## 4. MÉTHODOLOGIE

---

### 4.1. Description générale de la démarche de recherche

La figure 12 de la page suivante illustre la méthodologie de recherche générale adoptée dans ce travail. Le schéma est également disponible à l'annexe 1 au format A3 dans la version papier du manuscrit.

La partie « Mise en évidence de la problématique » de la figure 12 a été détaillée dans le chapitre précédent relatif à l'état de l'art. Elle illustre les premiers objectifs du travail orientés d'une part, vers la constitution d'une base de connaissances sur le BIM et sur son implémentation pour les bâtiments existants et, d'autre part, vers la recherche d'une entreprise déjà bien avancée dans la mise en œuvre du BIM. Finalement, les problématiques issues de la revue de la littérature scientifique et des résultats des entretiens orientent le travail vers l'étude et la modélisation d'un cas concret et aboutissent aux deux questions de recherche énoncées dans le chapitre 3.

Pour tenter de répondre à ces deux questions, une démarche structurée en deux étapes principales est établie.

La première étape de la démarche est consacrée à l'établissement d'un protocole de modélisation spécifique au bâtiment existant étudié. Celui-ci s'appuie, d'une part, sur les résultats des interviews réalisées chez ASSAR et, d'autre part, sur trois thématiques développées dans l'état de l'art : le protocole BIM belge, le Plan d'Exécution BIM et la réglementation sur la Performance Énergétique des Bâtiments. Sur base du protocole établi, deux modèles du bâtiment sont créés selon deux techniques de modélisation distinctes : la technique dite du « monocouche » et celle du « multicouche » dont les caractéristiques seront explicitées dans le chapitre suivant.

Une fois que les modèles atteignent le niveau de développement souhaité, la deuxième étape consiste à les exploiter à travers deux approches distinctes.

La première est dédiée à l'analyse du potentiel d'extraction et d'exploitation des informations des modèles pour réaliser une étude thermique réglementaire dans le logiciel PEB. Pour ce faire, nous analyserons les quantitatifs Revit des différents types de modèles et les comparerons aux paramètres calculés spécifiquement pour l'encodage PEB.

La seconde approche étudie le potentiel d'exploitation des maquettes numériques pour effectuer une simulation énergétique dans un logiciel d'analyse de modèles BIM. Pour ce faire, nous exporterons les modèles sous le format GBXML et évaluerons l'intégrité du transfert des données par rapport aux fichiers natifs Revit. Au terme de cette évaluation, les modèles seront importés dans le logiciel d'analyse pour réaliser la simulation énergétique. L'intégrité du transfert de données sera finalement évaluée une nouvelle fois en comparant le fichier GBXML généré par l'outil de simulation aux fichiers Revit et GBXML étudiés préalablement.

Au terme de ces mises en application et de l'analyse de leurs résultats, nous tenterons d'apporter des éléments de réponse aux questions de recherche qui font l'objet de ce travail.

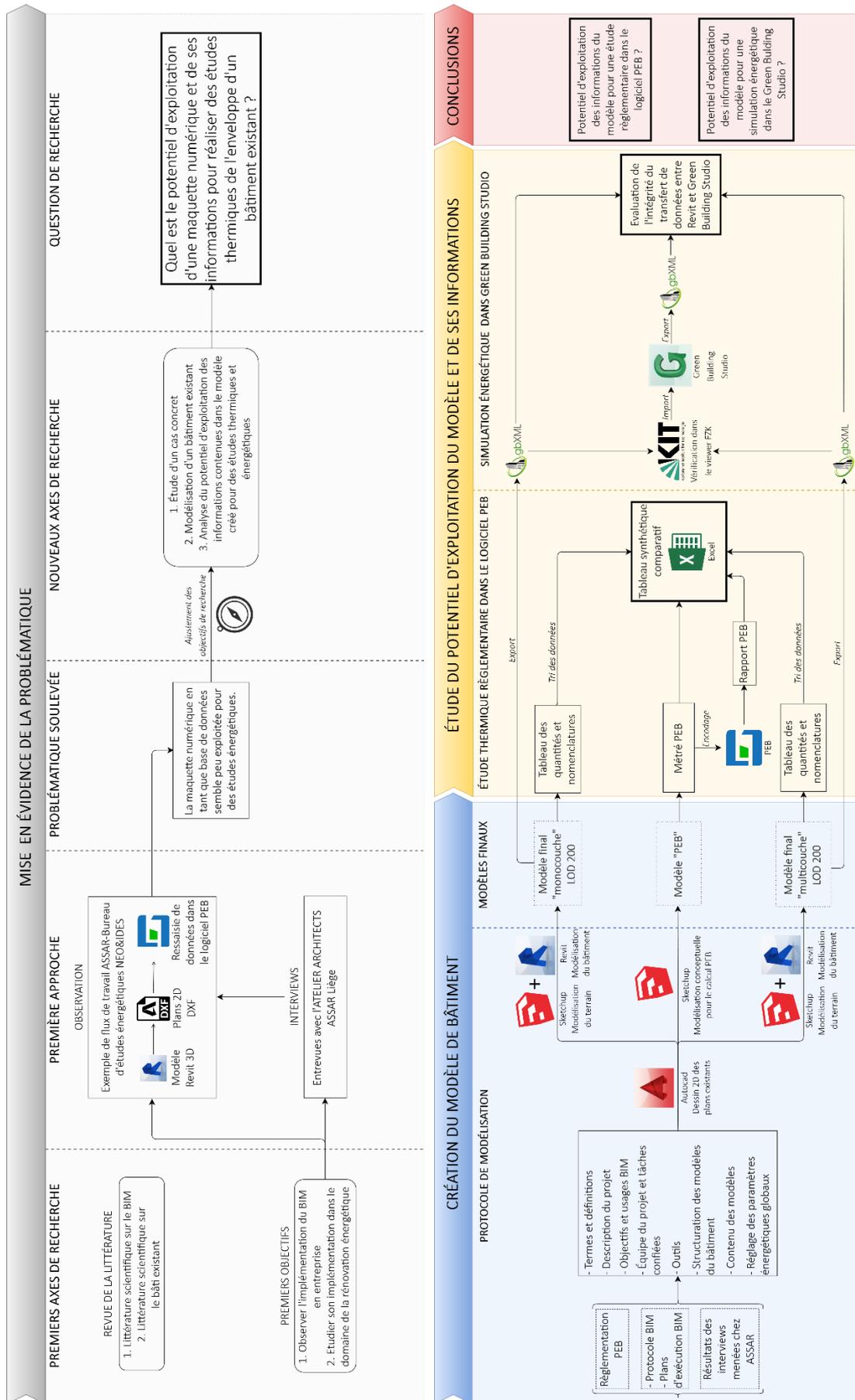


Figure 12 - Schéma méthodologique global de ce mémoire

## 4.2. Création des modèles du bâtiment existant

Comme mentionné dans le point 4.1., la première étape de la démarche développée en vue de répondre aux deux questions énoncées au chapitre 3 est consacrée à la modélisation d'un cas concret. Pour construire la maquette numérique du bâtiment existant, une méthode de modélisation est établie sur base du protocole et du plan d'exécution BIM présentés dans l'état de l'art.

Ces documents sont basés avant tout sur le travail collaboratif et l'échange d'informations entre différents corps de métier. Néanmoins, la thématique étudiée dans ce travail se limite à la modélisation des données d'un bâtiment existant. Les informations contenues dans le protocole et le plan d'exécution BIM sont donc adaptées au cas étudié et les chapitres relatifs à la collaboration et à la transmission de données entre différentes disciplines sont écartés.

Le tableau 7 résume les points faisant partie du protocole de modélisation établi. Les sections suivantes décrivent ensuite de manière concrète chacun de ces points.

Tableau 7 - Chapitres du protocole de modélisation mis en place

SECTION	DESCRIPTION
4.2.1. Termes et définitions	Cette section regroupe les définitions des concepts utilisés tout au long de chapitre pour favoriser leur compréhension et leur interprétation. Ceux-ci sont relatifs à la modélisation et au cas d'étude.
4.2.2. Description du projet	Cette section décrit brièvement le bâtiment existant et sa localisation.
4.2.3. Objectifs et usages BIM	Cette partie décrit les attentes du maître d'ouvrage et les traduit en objectifs BIM.
4.2.4. Equipe du projet et tâches confiées	Ce point liste les disciplines impliquées dans le projet et définit les tâches qui leur sont confiées.
4.2.5. Outils	Cette partie décrit l'ensemble des outils mis à disposition pour modéliser le bâtiment. Elle détaille la documentation disponible sur l'existant, les hypothèses émises sur les compositions de parois ainsi que les logiciels et leurs formats d'échange.
4.2.6. Structuration des modèles du bâtiment	Cette section détaille la manière dont est structuré et modélisé le bâtiment.
4.2.7. Contenu des modèles	Cette partie détaille les informations qui ont été intégrées dans les maquettes numériques et le niveau de développement de celles-ci.
4.2.8. Réglage des paramètres énergétiques globaux	Ce point décrit les paramètres énergétiques globaux qui ont été réglés pour préparer les modèles à des analyses énergétiques.

### 4.2.1. Termes et définitions

#### Usage BIM

Décrit au point 2.4.4 de l'état de l'art, un usage BIM est une procédure d'implémentation du BIM durant le cycle de vie d'un projet dans le but d'atteindre un ou plusieurs objectifs spécifiques.

#### LOD 200

Décrit au point 2.4.3 de l'état de l'art, ce niveau de développement correspond à une conception schématique. A ce stade, l'élément du modèle est une représentation géométrique générique et peut contenir des informations non-graphiques approximatives.

### Modélisation monocouche

Modélisation qui consiste à isoler en éléments distincts la couche porteuse et les couches interne et externe des parois.

### Modélisation multicouche

Ce type de modélisation est le plus courant et se base sur l'emploi de parois composites, c'est-à-dire de parois regroupant plusieurs couches de matériaux.

### Modèle analytique

Représentation tridimensionnelle simplifiée du modèle physique détaillé et complexe du bâtiment. Il sert à réaliser des simulations et des calculs dans des domaines tels que l'énergie ou la structure.

#### 4.2.2. Description du projet

Le cas d'étude de ce travail est un bâtiment résidentiel implanté sur un terrain en pente dans la vallée de l'Ourthe (Figure 13). L'ensemble se compose de deux parties principales qui ont été subdivisées en cinq logements. La première partie a été construite aux alentours des années 1900 et s'étend sur quatre niveaux tandis que la seconde partie a été construite en 2007 et comprend trois niveaux. Entre 1900 et 1980, une extension au sud de la partie la plus ancienne du bâtiment a également été réalisée. En proie à des problèmes de condensation et d'isolation thermique, l'ensemble nécessite d'être en partie rénové afin de respecter les exigences établies par la réglementation sur la Performance Energétique des Bâtiments. Des travaux de rénovation ont cependant déjà été entrepris dans la salle-de-bain de l'appartement du dernier niveau de la partie 1900.

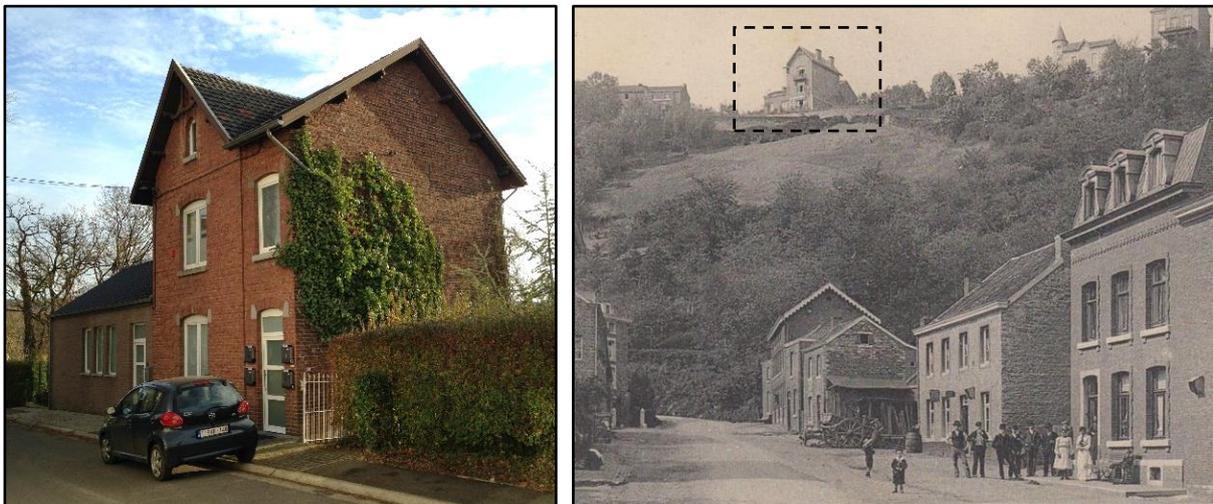


Figure 13 - Vue actuelle (façade avant) et vue d'époque du bâtiment (façade arrière vers 1905) (Sources : Photo personnelle et image d'archive)

#### 4.2.3. Objectifs et usages BIM

Les objectifs BIM définis par le maître d'ouvrage sont :

- Documenter précisément le projet existant pour l'exploitant ou le gestionnaire ;
- Obtenir les quantitatifs nécessaires pour une étude thermique réglementaire ;
- Obtenir un diagnostic de la performance énergétique actuelle du bâtiment.

Chaque objectif BIM est ensuite traduit en usage BIM, c'est-à-dire, en un procédé concret qui permet d'atteindre l'objectif fixé. La figure 14 regroupe les objectifs et les usages BIM qui en découlent :

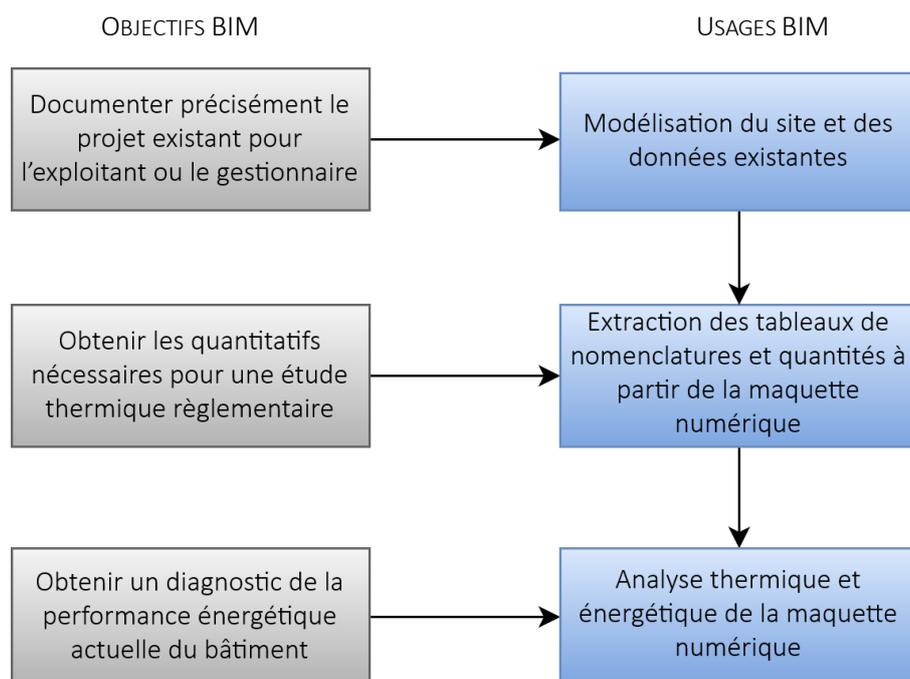


Figure 14 - Objectifs et usages BIM correspondants

#### 4.2.4. Équipe du projet et tâches confiées

Le tableau 8 renseigne les disciplines impliquées dans le projet et leur rôle dans l'implémentation du BIM.

Tableau 8 - Membres de l'équipe du projet

DISCIPLINES	TÂCHES ET RESPONSABILITÉS LIÉES AU BIM
Maîtrise d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Participation aux réunions dédiées au BIM</li> <li>- Contribution à la prise de décision tout au long du projet</li> <li>- Approbation et évaluation de la maquette numérique à chaque étape</li> </ul>
Architecture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Création et préparation des différents modèles du bâtiment existant en respectant le niveau LOD requis</li> <li>- Participation aux réunions dédiées au BIM</li> </ul>
Techniques spéciales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etudes thermiques et énergétiques de l'enveloppe du bâtiment existant</li> </ul>

#### 4.2.5. Outils

##### Documentation sur l'existant

Afin de modéliser le bâtiment existant de la manière la plus fiable possible, une série de documents est mise à disposition. Le tableau 9 liste cette documentation et indique le format auquel elle est disponible.

Tableau 9 - Documentation disponible sur l'existant

DESCRIPTION DES DOCUMENTS	FORMAT
Plans de relevés de chaque niveau incluant des notes écrites à la main sur la géométrie et les réseaux	PDF
Plans de chaque niveau remis au propre et coupe au niveau de la façade ouest	PDF
Plans de permis d'urbanisme datant de 2007 (élévations nord, sud et est + coupe façade est)	JPEG
Photos de l'extérieur et de l'intérieur du bâtiment	JPEG
Fiche technique sur l'isolation utilisée pour la salle-de-bain du R+2 de la partie 1900	PDF
Maquette numérique de la salle-de-bain rénovée du R+2	SKP

En outre, des informations complémentaires sur les techniques de construction utilisées dans les années 1900 sont apportées grâce au livre « Rénover le bâti » (Fisch *et al.*, 2012). Les réunions organisées avec le maître d'ouvrage permettent également de mieux appréhender le bâtiment et sa structure. Cependant, les appartements étant occupés, aucune visite sur site n'a pu être planifiée.

Les coupes présentées à l'annexe 2 détaillent les principales compositions de parois. La figure 15 illustre les parois pour lesquelles les compositions sont hypothétiques. Celles-ci ne représentent toutefois que 3 % de la surface totale des parois déperditives qui délimitent l'enveloppe du bâtiment.



Figure 15 – Mise en évidence des parois aux compositions hypothétiques dans le modèle Revit

### Logiciels

Le tableau 10 liste l'ensemble des logiciels utilisés dans ce travail.

Les logiciels de modélisation servent à construire le modèle du bâtiment existant. Sur base des plans PDF disponibles, le plan de chaque niveau du bâtiment est d'abord retracé en 2D dans Autocad afin de servir de base pour la modélisation 3D. Cette étape constitue un premier challenge car le bâtiment présente des irrégularités et les murs sont d'épaisseurs variables. Par conséquent, la superposition des différents niveaux n'est pas toujours évidente. Par ailleurs, il est compliqué de respecter précisément l'ensemble des cotes répertoriées sur les plans PDF vu le manque de consistance entre certains documents (entre les plans du permis d'urbanisme et les plans de relevés par exemple).

Les plans bidimensionnels sont ensuite importés au format DWG dans le logiciel Revit pour servir de référence à la modélisation en trois dimensions. Revit est l'outil principal de modélisation car il s'agit d'un logiciel orienté-objet largement utilisé dans le cadre de processus BIM. Par ailleurs, il intègre des outils d'analyse et de simulation énergétiques utiles pour notre étude.

Le logiciel Sketchup est dans un premier temps utilisé pour modéliser le terrain sur lequel s'implante le bâtiment. En effet, les outils topographiques de Revit sont complexes à utiliser et n'aboutissent pas toujours à des résultats concluants, le terrain est donc obtenu via un autre logiciel selon une méthode

plus simple et plus rapide. Le terrain créé est ensuite exporté puis importé dans Revit au format DWG. Dans un second temps, Sketchup est employé pour modéliser les volumes conceptuels des secteurs énergétiques nécessaires au calcul PEB.

Une fois que le modèle de bâtiment atteint le degré de précision souhaité, le certificateur PEB et le simulateur énergétique Green Building Studio sont utilisés pour réaliser des analyses de la performance énergétique du bâtiment. Le tableur Excel permet quant à lui de comparer les analyses des différents modèles entre elles.

Enfin, la visionneuse FZK sert à vérifier le contenu des modèles au format GBXML et l'intégrité du transfert de données entre les fichiers Revit et GBXML.

Tableau 10 - Logiciels utilisés et formats d'échange

INFORMATION EXPORTÉE	TYPE DE LOGICIEL NATIF	NOM ET VERSION DU LOGICIEL NATIF	FORMAT NATIF	FORMAT D'EXPORT	TYPE DE LOGICIEL D'IMPORT	NOM ET VERSION DU LOGICIEL D'IMPORT
Plans 2D	CAO	Autocad 2016	DWG	DWG	Modeleur	Revit 2019
Topographie	Modeleur	Sketchup 2018	SKP	DWG	Modeleur	Revit 2019
Modèle PEB	Modeleur	Sketchup 2018	SKP	-	Certificateur énergétique	PEB 9.0.2
Modèle analytique d'énergie	Modeleur	Revit 2019	RVT	GBXML	Simulateur énergétique	Green Building Studio
Quantitatifs	Modeleur	Revit 2019	RVT	TXT	Tableur	Excel
Modèle analytique d'énergie	Modeleur	Revit 2019	RVT	GBXML	Viewer	FZK

#### 4.2.6. Structuration des modèles du bâtiment

Pour créer la maquette numérique de l'existant, nous nous basons tout d'abord sur les conventions de modélisation utilisées par le bureau ASSAR. Ces dernières impliquent de modéliser de la même manière que l'on construit physiquement un bâtiment. Ce dernier est donc modélisé étage par étage comme représenté dans le tableau 11. Chacun des niveaux contient l'information hauteur et tous les éléments de construction se rattachent à l'un de ces niveaux.

Tableau 11 - Structuration du modèle Revit en niveaux d'élévation

NOM DU NIVEAU	HAUTEUR D'ÉLÉVATION [CM]
Corniche 1900	644
02 - R+2	597
Corniche 2007	322
01B - R+1	304
01A - Mezzanine	286
00 - Rez-de-chaussée	0
-01C - Rez-de-jardin	-256
-01B - Rez-de-jardin	-259
-01A - Rez-de-jardin	-269

Outre la séparation des éléments de construction par niveau, la modélisation *telle que l'on construit* implique également de distinguer les éléments du modèle suivant leur phase de construction. Ce principe, appelé modélisation en couches séparées ou « monocouche » est défini dans le point 4.2.1 et

représenté à la figure 16. Cette technique permet ainsi de gérer précisément les connexions d'isolants et fournit un métré plus précis qu'une modélisation en une seule couche. Dans un premier temps, nous nous basons sur ce principe de modélisation pour créer le modèle du bâtiment.

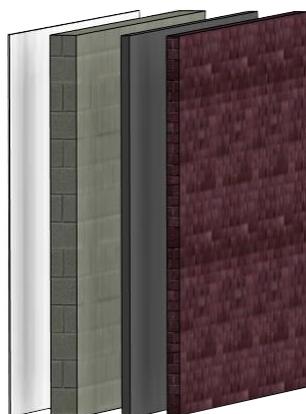


Figure 16 - Modélisation d'un mur en briques selon la technique du "monocouche"

Dans un deuxième temps, nous utilisons la technique du « multicouche » pour obtenir un second modèle de l'existant. Celle-ci est également définie au point 4.2.1 et représentée à la figure 17.



Figure 17 - Modélisation d'un mur en briques selon la technique du "multicouche"

#### 4.2.7. Contenu des modèles

Tous les éléments de construction sont modélisés avec l'outil approprié. Par exemple, un mur est modélisé avec l'outil « Mur » et un plancher avec l'outil « Sol ».

Le niveau de développement des éléments du modèle correspond à du LOD 200, dont la définition est reprise dans le point 4.2.1. Le tableau 12 ci-dessous indique les éléments qui sont intégrés dans la maquette numérique ainsi que les informations qui leur sont associées.

Tableau 12 - Eléments de construction et informations intégrées

ELÉMENT	INFORMATIONS ASSOCIÉES
Murs extérieurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Epaisseurs des couches de matériaux</li> <li>- Propriétés thermiques</li> <li>- Surface</li> </ul>

Murs intérieurs	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Epaisseurs des couches de matériaux</li> <li>- Propriétés thermiques</li> <li>- Surface</li> </ul>
Toiture	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Epaisseurs des couches de matériaux</li> <li>- Propriétés thermiques</li> <li>- Inclinaison et surface</li> </ul>
Planchers/plafonds	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Epaisseurs des couches de matériaux</li> <li>- Propriétés thermiques</li> <li>- Surface</li> </ul>
Ouvertures : portes et fenêtres	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Type</li> <li>- Matériaux</li> <li>- Largeur et hauteur</li> <li>- Type de vitrage</li> <li>- Propriétés thermiques</li> </ul>
Topographie/terrain	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Phase de création (Phase existante)</li> <li>- Matériau</li> <li>- Surface</li> </ul>

Notons que Revit ne connaît pas les propriétés thermiques des parois hétérogènes telles que la brique ou l'ossature bois. Pour pouvoir déterminer leur coefficient de transmission thermique U, il est nécessaire de calculer manuellement une conductivité thermique équivalente  $\lambda_{eq}$ . Les tableaux de calcul de cette grandeur sont repris à l'annexe 3.

La figure 18 illustre visuellement le bâtiment existant modélisé.



Figure 18 – Perspective issue de la modélisation dans Revit

#### 4.2.8. Réglage des paramètres énergétiques globaux

Les modèles ont tout d'abord été orientés selon le nord géographique par rapport aux conditions réelles du site (Figure 19).

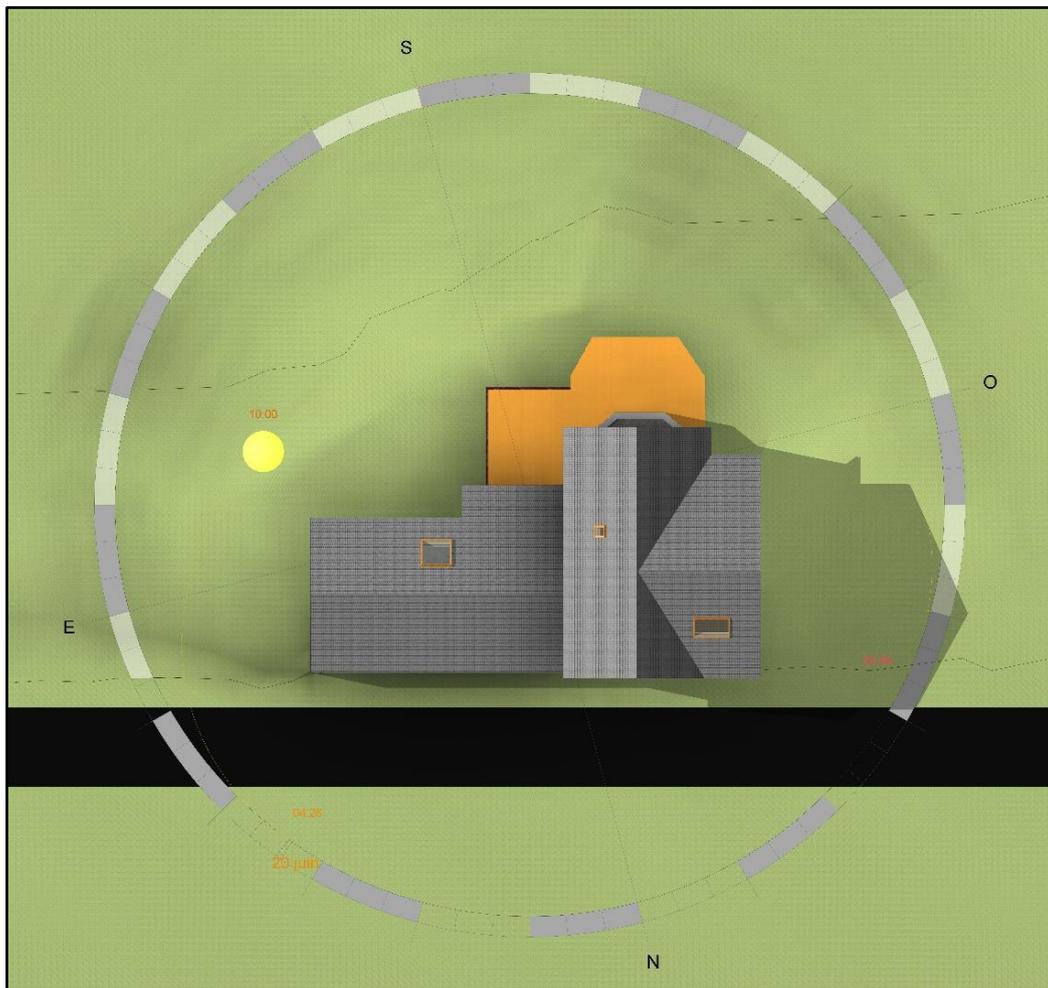


Figure 19 – Orientation du modèle Revit selon le nord géographique

Le tableau 13 fait l'inventaire des paramètres qui ont été réglés pour préparer la transformation des modèles physiques en modèles analytiques d'énergie. Ces derniers seront utilisés lors des mises en application décrites aux points 4.3 et 4.4.

Tableau 13 - Paramètres énergétiques généraux (Adapté de Autodesk Knowledge Network, 2017).

PARAMÈTRE	VALEUR	EXPLICATION
<i>Informations générales sur le bâtiment</i>		
Type de bâtiment	Multiplexe (Logement collectif)	Hypothèses de Revit : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Plage horaire d'occupation équivalente à celle d'un bâtiment résidentiel</li> <li>- m<sup>2</sup>/personne : 45</li> <li>- Gain de chaleur sensible par personne : 73,3 W/personne</li> <li>- Gain de chaleur latente par personne : 58,6 W/personne</li> <li>- Puissance de l'éclairage : 6,5 W/m<sup>2</sup></li> <li>- Puissance des équipements : 5,4 W/m<sup>2</sup></li> </ul>

Emplacement	Esneux, Belgique	L'emplacement permet d'obtenir les données météorologiques de la station la plus proche.
<i>Informations sur les pièces/espaces</i>		
Catégorie d'exportation	Espaces	Il n'est pas nécessaire d'ajouter des pièces ou des espaces dans le modèle architectural pour pouvoir créer le modèle énergétique. Cependant, si le modèle architectural contient des pièces ou des espaces qui sont inclus dans les espaces analytiques du modèle énergétique, le paramètre « Catégorie d'exportation » permet de déterminer les informations qui seront transmises au modèle analytique pour réaliser la simulation. En sélectionnant la catégorie d'exportation « Espaces », Revit va transmettre les informations suivantes au modèle analytique d'énergie : le nom et le numéro de l'espace, les paramètres d'occupation, d'éclairage et d'équipements et la zone thermique auquel l'espace appartient. Cette catégorie d'export est donc plus précise que la catégorie d'exportation basée sur les « Pièces » qui transmet uniquement le nom et le numéro de la pièce à l'espace analytique correspondant.
<i>Modèle analytique d'énergie</i>		
Mode d'analyse	Basé sur les éléments de construction	Nous choisissons ce mode car toutes les compositions de parois du modèle ont été détaillées. Par conséquent, celui-ci ne contient pas de volumes conceptuels.
Plan du sol	-01C - Rez-de-jardin	Les sols sous ce plan sont considérés comme enterrés.
Phase du projet	Phase 1 : Situation existante	Si plusieurs phases ont été appliquées aux éléments de construction du modèle, ce paramètre indique la phase à prendre en compte pour créer le modèle analytique d'énergie.
Résolution de l'espace analytique	15,24 cm	Ce paramètre influence la précision du modèle énergétique. Il s'agit de l'espacement minimal qui peut être ignoré entre les éléments de construction lors de l'identification des espaces analytiques. Pour le cas étudié, la résolution a été définie sur la valeur minimale prise en compte par Revit (15,24 cm) pour obtenir un modèle analytique plus précis. Si l'on considère que X représente l'espacement entre les éléments : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si <math>X &lt; 15,24</math> cm, l'espacement sera ignoré et l'espace analytique sera créé.</li> <li>- Si <math>15,24 \text{ cm} &lt; X &lt; 30,48</math> cm, l'espacement sera ignoré ou pris en compte.</li> <li>- Si <math>X &gt; 30,48</math> cm, l'espacement ne sera pas ignoré et l'espace analytique ne pourra pas être créé.</li> </ul>
Résolution de la surface analytique	7,62 cm	Tout comme la résolution de l'espace analytique, ce paramètre influence la précision du modèle énergétique. Pour le cas étudié, nous lui avons également donné la plus petite valeur prise en compte par Revit (7,62 cm) pour obtenir un modèle analytique plus précis. Si l'on considère que Y représente la cote de la surface : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Si <math>Y &lt; 7,62</math> cm, alors la surface analytique ne sera pas créée.</li> <li>- Si <math>7,62 \text{ cm} &lt; Y &lt; 15,24</math> cm, alors la surface analytique sera créée ou ignorée.</li> <li>- Si <math>Y &gt; 15,24</math> cm, alors la surface analytique sera créée.</li> </ul>
<i>Propriétés thermiques des matériaux</i>		
Éléments détaillés	Case cochée	Cocher cette option permet d'utiliser les propriétés thermiques des matériaux des éléments de construction définis lors de la modélisation du bâtiment.

## 4.3. Préparation des modèles et extraction des informations-bâtiment pour une étude thermique règlementaire

### 4.3.1. Protocole

Cette première section décrit le protocole mis en place pour évaluer le potentiel d'utilisation des données géométriques et thermiques contenues dans les deux modèles Revit pour un encodage dans le logiciel PEB. Pour estimer ce potentiel, nous analyserons les tableaux de nomenclatures et quantités fournis par le logiciel Revit et les métrés calculés spécifiquement pour l'encodage PEB.

#### Préparation de l'arbre énergétique et calculs de métrés spécifiques à l'encodage PEB

La première étape de la démarche est consacrée à la préparation de l'arbre énergétique et à l'encodage des données du bâtiment dans le logiciel PEB.

L'encodage débute par la caractérisation des travaux à effectuer et du type de bâtiment. En effet, comme mentionné dans le chapitre 2.5.2 de l'état de l'art, c'est sur base de ces deux facteurs que les exigences à respecter sont déterminées. Le cas étudié dans ce travail est un bâtiment résidentiel existant, il doit donc répondre aux exigences du tableau 14 :

Tableau 14 - Rappel des exigences PEB en fonction de la nature des travaux

NATURE DES TRAVAUX	EXIGENCES				
	Isolation	Ventilation	Niveau $E_w$	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	Surchauffe [kh/an]
Bâtiments neufs ou assimilés	K35, $U_{max}$ + nœuds constructifs	Dispositifs de ventilation - Annexe C2 de l'arrêté	≤ 65	≤ 115	< 6 500
Rénovation simple	$U_{max}$ des éléments modifiés + nœuds constructifs	Amenées d'air - Annexe C2 de l'arrêté	-	-	-
Rénovation importante					
Changement d'affectation (chauffé → chauffé)					
Changement d'affectation (non chauffé → chauffé)	K65, $U_{max}$ + nœuds constructifs	Dispositifs de ventilation - Annexe C2 de l'arrêté	-	-	-

Notons que le nombre d'exigences à respecter diffère selon la nature des travaux effectués. Cependant, cette dernière n'a aucune incidence sur la méthode de calcul de chaque exigence.

Bien que le bâtiment étudié consiste en une rénovation simple, nous formulons artificiellement l'hypothèse d'un bâtiment neuf et assimilé et considérons ainsi l'ensemble des indicateurs PEB.

La suite de l'encodage consiste à déterminer le volume protégé du bâtiment. Par définition, celui-ci est constitué de l'ensemble des espaces qui sont protégés des déperditions thermiques vers l'environnement extérieur, le sol ou les espaces adjacents non chauffés. Il s'agit en d'autres termes du volume isolé de la construction. Cependant, le bâtiment étudié ne présente pas une isolation thermique continue définissant une enveloppe fermée. Par souci de simplification, nous considérons donc que tous les appartements et espaces communs (zone technique du rez-de-jardin, hall d'entrée et circulations verticales à partir du rez-de-chaussée) appartiennent au volume protégé et nous les encodons en six unités PEB distinctes (Figure 20).

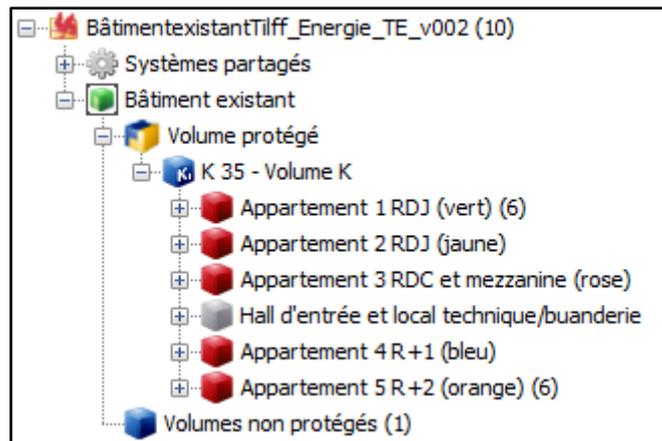


Figure 20 – Encodage des unités dans l’arbre énergétique du logiciel PEB

Le bâtiment ne dispose d’aucune installation de ventilation ou de refroidissement mais est uniquement alimenté par un système de chauffage. Deux modes de production sont utilisés : des radiateurs alimentés par une chaudière centrale au mazout qui chauffent l’ensemble des appartements et des radiateurs électriques qui sont présents dans les salles-de-bain des appartements 1,2 et 5. La méthode de calcul PEB impose de distinguer les espaces d’une même unité PEB alimentés selon deux modes de production de chaleur différents. Par conséquent, nous définissons deux secteurs énergétiques distincts dans les appartements 1, 2 et 5 (Figure 21) :

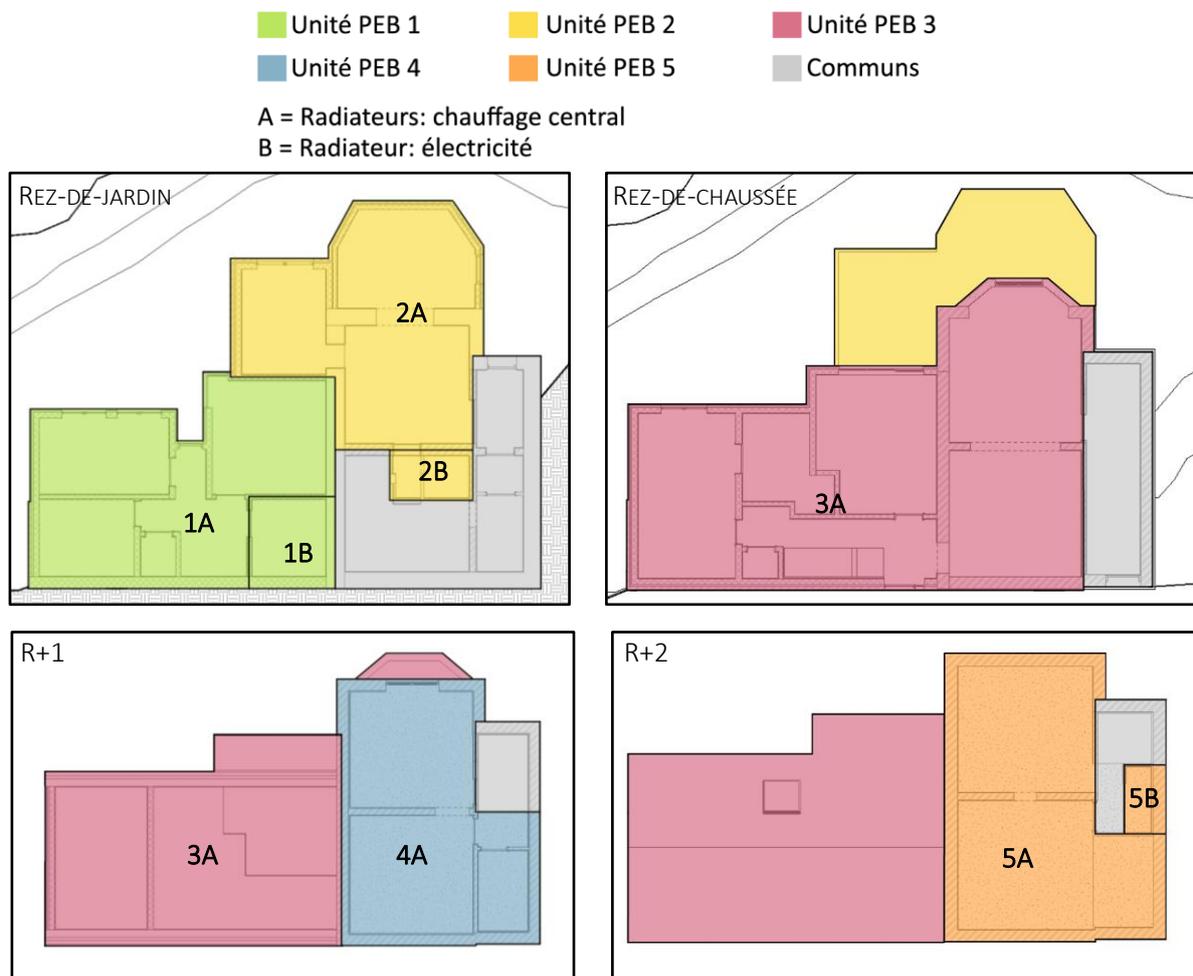


Figure 21 – Vues en plan issues de Revit illustrant les unités PEB et leurs secteurs énergétiques

Finalement, nous obtenons l'arbre énergétique complet de la figure 22 :

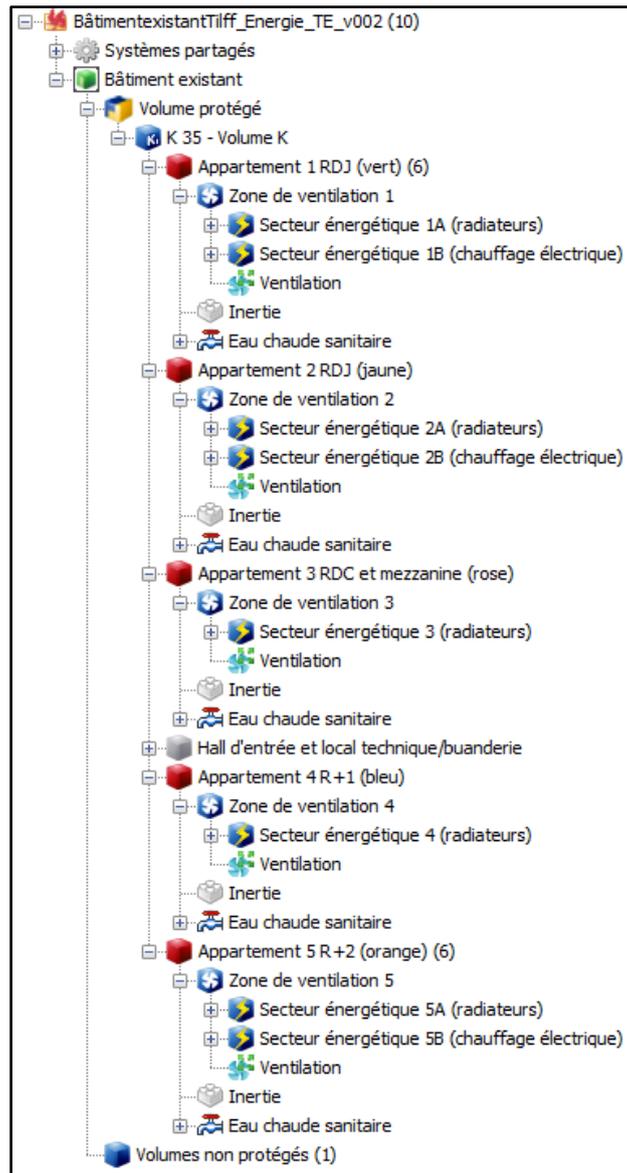


Figure 22 - Arbre énergétique complet issu du logiciel PEB

Le calcul PEB repose en partie sur un encodage manuel de données dimensionnelles dans le logiciel. Ces dernières sont reprises dans le tableau 15.

Tableau 15 - Données dimensionnelles de chaque composant de l'arbre énergétique à encoder dans le logiciel

COMPOSANT DE L'ARBRE ÉNERGÉTIQUE	DONNÉES DIMENSIONNELLES	DÉFINITION
Unité PEB	Superficie utile [m <sup>2</sup> ]  Surface de plancher chauffée $A_{ch}$ [m <sup>2</sup> ]	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surface calculée entre les murs ou parois extérieures de l'unité PEB sans prendre en compte leur épaisseur.</li> <li>- Somme des aires de plancher de chaque niveau situé dans le volume protégé, mesurées entre les faces externes des murs extérieurs. Sont comptabilisées les surfaces ayant une hauteur sous plafond minimale de 1,5 m pour autant que l'espace considéré présente au moins en un point une hauteur minimale de 2,2 m.</li> </ul>
Secteur énergétique	Volume protégé [m <sup>3</sup> ]	Volume des différents secteurs énergétiques des unités PEB déterminé sur base des dimensions extérieures, en prenant en compte le volume des parois intérieures. Les parois mitoyennes entre deux volumes protégés, deux unités PEB ou deux secteurs énergétiques appartiennent pour moitié à l'un et pour moitié à l'autre.
Parois	Surface de déperdition $A_T$ [m <sup>2</sup> ]	Somme des surfaces des parois qui séparent le volume protégé de l'environnement extérieur, du sol ou des espaces enterrés non chauffés et des espaces contigus non chauffés. Cette somme est calculée par rapport aux dimensions extérieures et ne prend pas en compte les parois mitoyennes.

L'encodage des données topologiques peut être automatisé par l'utilisation du modelleur 3D disponible en version bêta dans le logiciel PEB. Cet outil, développé par la cellule du LUCID de l'Université de Liège, se base sur une interface graphique simple et intuitive et permet de modéliser de manière conceptuelle le bâtiment afin d'éviter les erreurs d'encodage. Bien qu'il soit un outil intéressant et permette de gagner du temps, il n'a cependant pas été utilisé dans le cadre de ce travail. En effet, des messages d'erreurs apparaissaient constamment lors de l'ouverture des fichiers et les rendaient inutilisables, certainement en raison de la version bêta du modelleur (Figure 23).

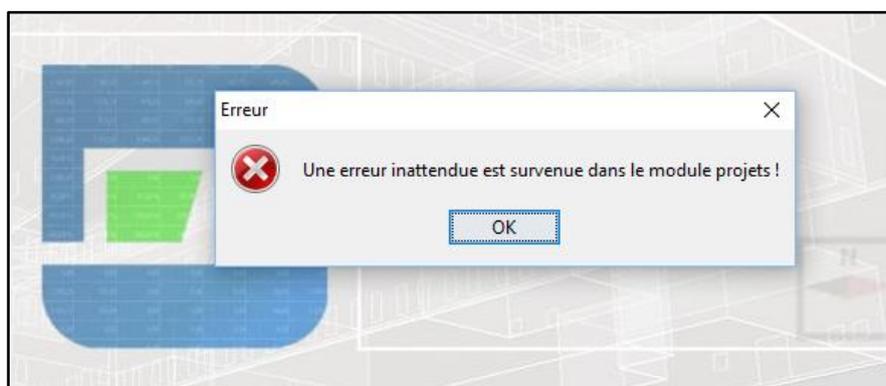


Figure 23 - Message d'erreur lors de l'ouverture du fichier PEB

Le modèle énergétique lié au calcul PEB est donc modélisé dans le logiciel Sketchup pour mieux visualiser le découpage du bâtiment en différents secteurs énergétiques. Les surfaces des parois de déperdition et les volumes de chacun de ces secteurs sont ensuite encodés manuellement sur base du modèle représenté sur la figure 24.

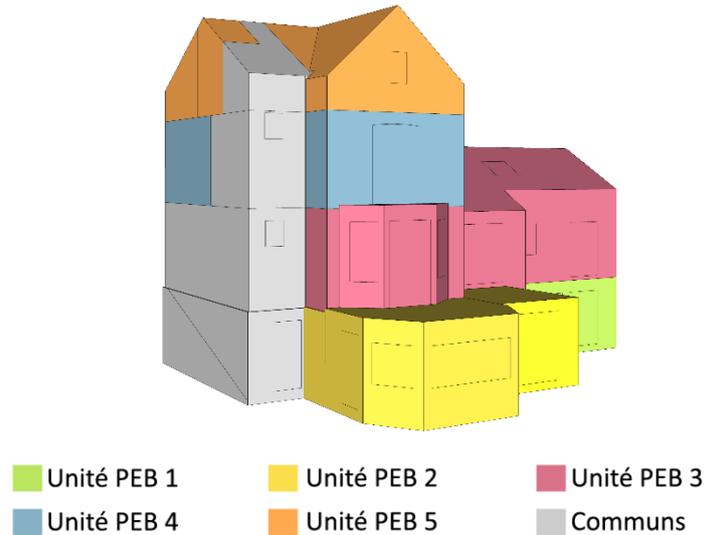


Figure 24 - Volumes conceptuels des secteurs énergétiques modélisés dans Sketchup

L'encodage consiste en outre à détailler les compositions de chaque paroi afin que le logiciel calcule leur coefficient de transmission thermique U. Cette valeur peut également être encodée directement pour l'ensemble de la paroi si elle est connue. Pour déterminer le coefficient de transmission thermique des fenêtres, nous procédons à un encodage détaillé. Ne connaissant pas leurs caractéristiques thermiques précises, nous considérons un  $U_g$  de  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$  qui correspond à la valeur standard d'un double vitrage et un facteur solaire  $g=0,75$ . Nous estimons la surface ouvrante de la fenêtre égale à 70% de sa surface totale. En outre, nous fixons le coefficient U des portes extérieures à  $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Le dernier paramètre que nous entrons est le type de construction de chaque secteur énergétique afin que le logiciel détermine leur inertie thermique. Les calculs du type de construction de chaque secteur sont présentés à l'annexe 4 de ce travail.

Finalement, le logiciel affiche les résultats du tableau 16 pour chaque unité PEB.

Tableau 16 - Résultats du calcul PEB

	K	VENTILATION	NIVEAU $E_w$	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	SURCHAUFFE [kh/an]	BNE* [kWh/m <sup>2</sup> an]	CLASSE ÉNERGÉTIQUE
LIMITES ACCEPTABLES POUR LES BÂTIMENTS NEUFS OU ASSIMILÉS	<b>35</b>	-	<b>65</b>	<b>115</b>	<b>6500</b>		
Appartement 1	105	-	159	316	2814,91	133,71	D
Appartement 2	105	-	246	523	2758,21	239,32	G
Appartement 3	105	-	226	371	3415,72	164,94	E
Appartement 4	105	-	176	301	2209,12	130,3	D
Appartement 5	105	-	312	742	1502,30	336,31	G
Hall d'entrée – Local technique	105	-	-	-	-	-	-

\*Besoins nets en énergie de chauffage

La plupart des résultats obtenus sont largement au-dessus de la limite acceptable. Cependant, rappelons que le calcul PEB est réalisé en supposant que le bâtiment est neuf ou assimilé. Les exigences à respecter sont donc plus nombreuses. Si nous avons défini la nature des travaux comme une rénovation, seules les exigences sur les coefficients U/R et la ventilation auraient été d'application.

## Calculs de métrés à partir des modèles constructifs Revit

La seconde étape de la démarche est consacrée à l'extraction de données à partir des modèles monocouche et multicouche réalisés sur Revit en vue d'évaluer leur potentiel d'exploitation pour un encodage dans le logiciel PEB.

Pour estimer ce potentiel, nous analyserons dans un premier temps les méthodes qui permettent d'extraire des deux modèles des données utiles à l'étude PEB. Ensuite, nous traiterons ces données et nous les comparerons aux valeurs entrées manuellement dans le logiciel PEB. Les informations examinées et comparées entre les deux logiciels sont les suivantes :

- La surface de déperdition des parois qui séparent les différents secteurs énergétiques
- Le coefficient de transmission thermique U et la résistance thermique R
- La surface de planchers chauffée ou climatisée de chaque secteur énergétique
- Le volume de chaque secteur énergétique

La superficie utile de chaque unité PEB ne sera pas étudiée. En effet, cette valeur sert uniquement à définir le type de l'auteur de l'étude de faisabilité dans le cas d'une nouvelle construction. Si la superficie utile totale du bâtiment est au-delà de 1000 m<sup>2</sup>, l'étude de faisabilité doit être réalisée par un auteur d'étude de faisabilité agréé, si cette valeur est en-deçà ou égale à 1000 m<sup>2</sup>, l'étude peut être réalisée par un auteur d'étude de faisabilité ou par un responsable PEB agréé. Sa valeur n'a donc aucune incidence sur les résultats du calcul PEB.

### Surfaces de déperdition et propriétés thermiques des parois

Le calcul des surfaces de déperdition et des propriétés thermiques à partir des modèles Revit est réalisé pour tous les éléments de construction : murs, planchers, plafonds, toitures, fenêtres et portes. Pour chacun de ces éléments, des tableaux de nomenclatures et quantités sont créés dans Revit. Ceux-ci sont ensuite exportés dans un tableur Excel puis les données qu'ils contiennent sont triées pour obtenir des tableaux intermédiaires.

Pour obtenir le métré des **surfaces de murs** des modèles mono et multicouche, nous créons un relevé de matériaux incluant les paramètres définis dans le tableau 17. Nous regroupons ensuite les éléments par fonction puis par type pour le modèle monocouche, par fonction puis par surface pour le modèle multicouche. Enfin, nous cochons le paramètre « Détailler les occurrences » qui permet d'intégrer toutes les instances d'un même type de mur dans le relevé.

Tableau 17 – Structuration du relevé des matériaux de murs dans Revit

MODÈLE	FONCTION (ENVIRONNEMENT)	TYPE	NOM DU MATÉRIAU	SURFACE [m <sup>2</sup> ]
Monocouche	Tri	Tri	-	-
Multicouche	Tri	-	-	Tri

Les données brutes obtenues (Annexes 5 et 6) sont ensuite importées dans Excel puis triées pour pouvoir être comparées aux surfaces de murs encodées dans le logiciel PEB.

Le tri consiste dans un premier temps à sélectionner les murs utiles pour l'étude PEB, c'est-à-dire les murs délimitant chaque secteur énergétique. En effet, l'ensemble des parois intérieures a été détaillé dans les modèles, or, le logiciel PEB n'a besoin que des informations relatives aux parois délimitant chaque secteur énergétique. Le tri du métré du modèle monocouche est plus complexe puisque les couches de matériaux d'une même paroi sont distinctes et génèrent donc plus d'instances d'objet que le modèle multicouche. Le traitement des données du modèle monocouche implique également de devoir définir le matériau de la paroi à prendre en compte pour le calcul de surface. La méthode de calcul PEB détermine la surface d'une paroi par rapport à sa face externe lorsqu'elle est en contact avec

l'environnement extérieur et par rapport à l'axe de son épaisseur totale lorsqu'elle sépare deux mitoyens (Figure 25). Par conséquent, nous considérons soit la surface de la couche de matériau extérieure soit la couche porteuse des parois.

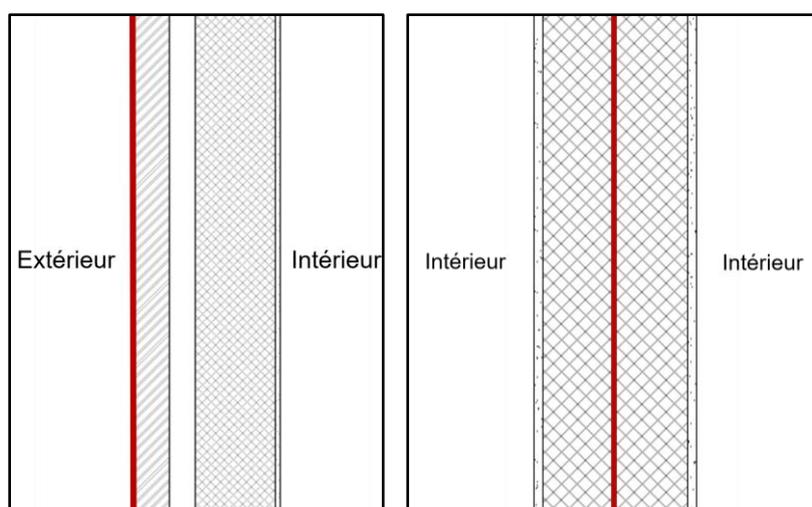


Figure 25 - Définition de la surface de déperdition d'un mur extérieur (gauche) et d'un mur mitoyen (droite) sur une vue en plan

Le modèle multicouche ne nécessite pas de déterminer la couche de matériau à prendre en compte pour le calcul de surface puisque toutes les couches sont déjà incluses dans une même instance. En outre, pour ce modèle, Revit attribue automatiquement la même surface à tous les matériaux d'une même paroi en prenant comme référence l'axe de la couche principale (Tableau 18). Les surfaces obtenues ne correspondent donc pas à la réalité constructive.

Tableau 18 - Surfaces des couches de matériaux d'un mur extérieur pour le modèle multicouche

FONCTION	TYPE	NOM DU MATÉRIAU	SURFACE [m <sup>2</sup> ]
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	0,47

Après avoir déterminé les murs utiles à l'étude PEB, ceux-ci sont classés par secteur énergétique. Les surfaces de murs dont la composition est identique et qui appartiennent au même secteur énergétique sont ensuite additionnées. Cette étape est ardue car elle nécessite de scinder certains murs pour distinguer deux secteurs énergétiques ou deux unités PEB (Figure 26). Les tableaux obtenus après traitement des données sont détaillés aux annexes 15 et 16.

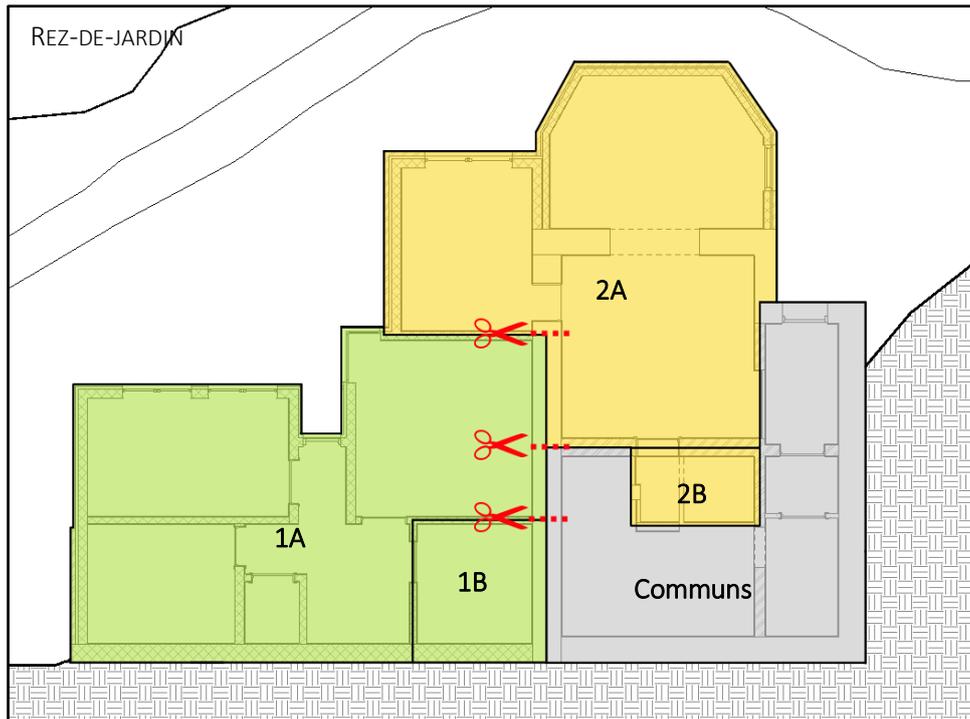


Figure 26 – Vue en plan issue de Revit illustrant le découpage du mur mitoyen séparant les parties 2007 et 1900

Les surfaces totales des murs sont ensuite classées selon l'arborescence du fichier PEB dans un tableau synthétique pour pouvoir comparer les deux fichiers.

Pour obtenir les **propriétés thermiques des murs** des modèles mono et multicouche, nous créons une nouvelle nomenclature intégrant les paramètres du tableau 19. Nous regroupons ensuite les éléments par fonction puis par type sans cocher l'option « Détailler les occurrences » puisque les instances d'un même type de mur possèdent les mêmes propriétés.

Tableau 19 - Structuration de la nomenclature de murs dans Revit

MODÈLE	FONCTION (ENVIRONNEMENT)	TYPE	RÉSISTANCE THERMIQUE (R)	COEFFICIENT DE TRANSFERT DE CHALEUR (U)
Monocouche et multicouche	Tri	Tri	-	-

Les données brutes (Annexes 7 et 8) sont ensuite exportées et intégrées dans un fichier Excel.

Les propriétés des murs du modèle multicouche ne nécessitent pas de traitement car elles sont calculées sur toute l'épaisseur de l'élément. A contrario, pour le modèle monocouche, les types de matériaux appartenant à une même paroi doivent être rassemblés et leurs résistances thermiques doivent être additionnées pour pouvoir calculer le coefficient de transmission thermique U (Tableau 20). En effet, la valeur U fournie dans le quantitatif brut du modèle monocouche est distincte pour chaque couche de matériau. Elle n'est donc pas exploitable car ce coefficient est égal à l'inverse de la résistance thermique totale de la paroi  $U = 1/R_T \neq U_1 + U_2 + U_3 + \dots$ . Ce dernier est donc simplement obtenu par la formule  $1/R_T$ . Les tableaux obtenus après traitement des données sont présentés aux annexes 17 et 18.

Tableau 20 - Calcul des coefficients U et R des murs monocouches

TYPE	R [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	0,02	1,90	0,53
2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	1,71		
2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	0,15		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,02		

Les **surfaces et propriétés thermiques des fenêtres** des deux modèles sont obtenues sur base d'une seule nomenclature à laquelle nous intégrons les champs du tableau 21. La surface est un paramètre qui est ajouté manuellement et calculé en multipliant hauteur et largeur. Notons que la hauteur et la largeur sont déterminées par rapport à l'ouverture vue de l'extérieur, comme le préconise la méthode PEB. Les données sont ensuite triées par niveau puis famille et les occurrences sont détaillées dans Revit.

Tableau 21 - Structuration de la nomenclature de fenêtres dans Revit

MODÈLE	NIVEAU	FAMILLE	TYPE	HAUTEUR	LARGEUR	SURFACE	R	U
Monocouche et multicouche	Tri	Tri	-	-	-	-	-	-

Enfin, les données brutes (Annexe 9) sont exportées puis intégrées dans un fichier Excel dans lequel elles sont classées par secteur énergétique (Annexe 19).

Les **surfaces et propriétés thermiques des portes** sont également obtenues sur base d'une seule nomenclature qui intègre les champs du tableau 22. Les données sont triées par niveau, fonction puis famille et les occurrences sont détaillées dans Revit.

Tableau 22 - Structuration de la nomenclature de portes dans Revit

MODÈLE	NIVEAU	FONCTION	FAMILLE	TYPE	HAUTEUR BRUTE	LARGEUR BRUTE	SURFACE	R	U
Monocouche et multicouche	Tri	Tri	Tri	-	-	-	-	-	-

La nomenclature des données brutes (Annexe 10) est exportée et intégrée dans un fichier Excel afin de faire le tri des portes nécessaires pour l'étude PEB et de les regrouper par secteur énergétique. Le tableau obtenu est représenté à l'annexe 20.

Pour obtenir le quantitatif des **surfaces déperditives de planchers**, nous n'utilisons pas le relevé de matériaux mais une méthode alternative plus rapide et plus simple, qui n'implique pas de scinder les planchers de même composition entre deux secteurs énergétiques. Celle-ci consiste à créer des plans de surfaces, c'est-à-dire des vues en plan dans lesquelles les surfaces spécifiques sont détournées et quantifiées à l'aide de lignes de séparation (Figure 27). L'avantage de cette méthode est qu'elle est indépendante de la manière dont le bâtiment est modélisé (en couches séparées ou composites) puisque les surfaces sont délimitées manuellement.



Figure 27 – Vue en plan issue de Revit illustrant les surfaces déperditives de planchers

Après avoir défini des plans de surfaces des planchers de chaque secteur énergétique, nous leur assignons une nomenclature comprenant les paramètres du tableau 23.

Tableau 23 - Structuration de la nomenclature de surfaces dans Revit

MODÈLE	NIVEAU	NOM	SURFACE
Monocouche et multicouche	Tri	Tri	-

La nomenclature obtenue (Annexe 21) est ensuite exportée et intégrée dans un fichier Excel sans nécessiter de traitement complémentaire.

Les **propriétés thermiques des planchers/plafonds** sont déterminées de la même manière que les murs, selon la structure du tableau 19 présentée précédemment. A nouveau, les valeurs brutes des résistances thermiques et des coefficients de transfert de chaleur (Annexes 11 et 12) sont rassemblées et additionnées par paroi pour le modèle monocouche. Les valeurs obtenues sont présentées aux annexes 22 et 23.

Les **surfaces de toits** n'ont pas pu être obtenues à partir des modèles constructifs. En effet, la toiture du niveau R+2 nécessitait d'être scindée en trois parties de manière à obtenir une surface distincte pour chaque secteur énergétique (Figure 28). Cette manipulation se révélant trop complexe, nous ne les avons pas calculées à partir de ces modèles.

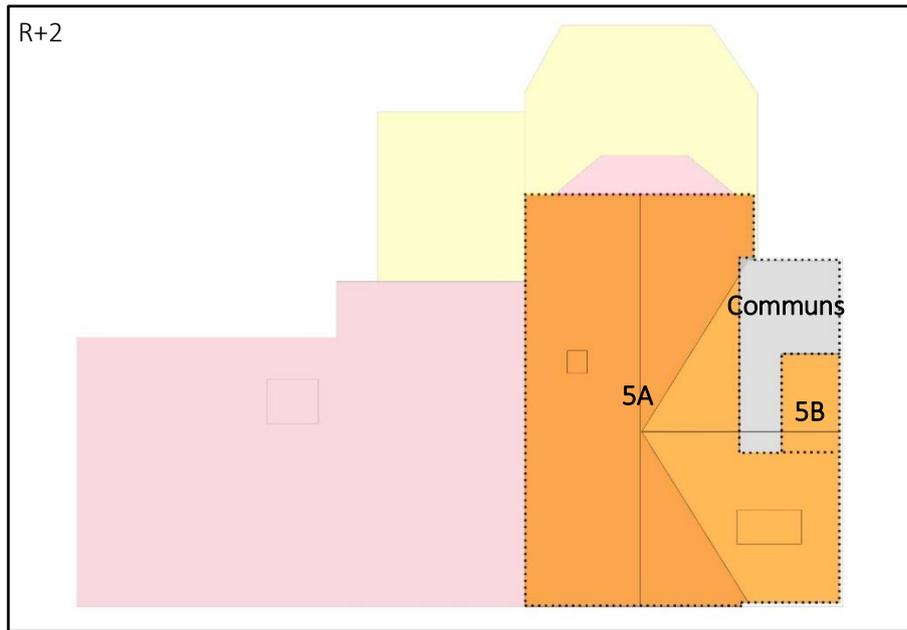


Figure 28 – Vue en plan issue de Sketchup illustrant le découpage de la toiture du R+2 selon les secteurs énergétiques

Les **propriétés thermiques des toitures** sont définies de la même manière que les propriétés thermiques des murs et des planchers/plafonds selon la structure du tableau 19. Les tableaux des données avant et après traitement sont présentés dans les annexes 13, 14 et 24.

Les **surfaces de planchers chauffés** sont déterminées de la même façon que les surfaces déperditives de planchers, à l'aide de plans de surfaces (Figure 29). Cependant, la méthode PEB définit ce paramètre par rapport à une hauteur sous plafond minimale de 1,5 m pour autant que l'espace considéré présente au moins en un point une hauteur minimale de 2,2 m. Il est donc nécessaire de réaliser des coupes dans Revit et de regarder à quelle distance par rapport aux murs extérieurs se trouvent les limites de surfaces chauffées. Sur la figure 29, la mezzanine de la partie 2007 n'est pas comptabilisée dans les chauffées car sa hauteur sous plafond est inférieure à 2,2 m en tout point. La nomenclature des surfaces de planchers chauffés intègre les mêmes champs que ceux définis dans le tableau 23 et ces derniers sont triés par secteur énergétique. Le tableau obtenu est disponible à l'annexe 25.

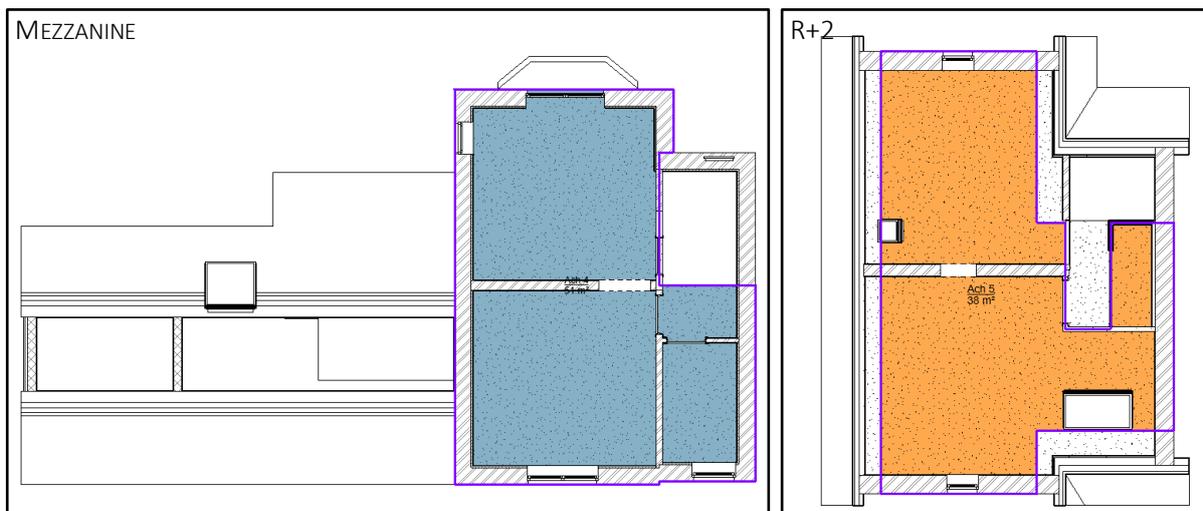


Figure 29 – Vues en plan issues de Revit illustrant les surfaces chauffées des unités PEB 4 (gauche) et 5 (droite)

## Calculs de métrés à partir des modèles analytiques d'énergie de Revit

Le point précédent a détaillé la méthode suivie pour exporter des quantitatifs à partir des modèles constructifs. Cette section illustre à présent la méthode alternative qui a été testée pour obtenir les surfaces des éléments à partir d'un modèle plus simple. Il s'agit du modèle analytique d'énergie qui peut être généré automatiquement dans Revit à partir du modèle constructif. La particularité de ce modèle est qu'il est uniquement composé de surfaces simples qui ont été interprétées par le logiciel sur base des éléments de construction. Sa géométrie est donc semblable à celle d'un modèle conceptuel réalisé pour un calcul PEB. L'unique différence réside dans la position de la surface analytique par rapport à l'épaisseur de l'élément. Contrairement au calcul PEB qui définit les surfaces par rapport à la couche externe des parois en contact avec l'extérieur et par rapport à l'axe des parois entre deux mitoyens, les surfaces analytiques créées par Revit sont automatiquement définies par rapport à l'axe des éléments (Figure 30).

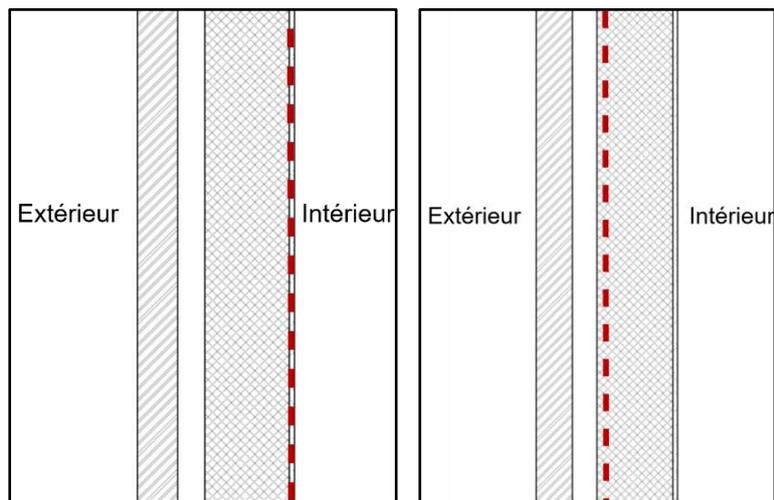


Figure 30 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche (gauche) et multicouche (droite)

Avant de transformer les modèles constructifs monocouche et multicouche en modèles énergétiques, nous procédons à une phase préparatoire dont la procédure diffère quelque peu selon le modèle. Celle-ci consiste à modifier les paramètres de délimitation de pièce des éléments de construction en activant ou désactivant leur propriété « Limite de pièce » (Figure 31). Ainsi, seuls les éléments de construction dont le paramètre est coché sont intégrés au modèle analytique d'énergie généré par l'algorithme.

Propriétés		Propriétés	
Mur de base 1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm		Mur de base 1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	
Murs (1)		Murs (1)	
Contraintes		Contraintes	
Ligne de justification	Axe du mur	Ligne de justification	Axe du mur
Contrainte inférieure	-01A - Rez-de-jardin	Contrainte inférieure	-01A - Rez-de-jardin
Décalage inférieur	-10,00	Décalage inférieur	0,00
Partie inférieure attachée	<input type="checkbox"/>	Partie inférieure attachée	<input type="checkbox"/>
Extension inférieure	0,00	Extension inférieure	0,00
Contrainte supérieure	Jusqu'au niveau: 00 - Rez-de-chaussée	Contrainte supérieure	Jusqu'au niveau: 00 - Rez-de-chaussée
Hauteur non contrainte	272,00	Hauteur non contrainte	244,00
Décalage supérieur	-7,00	Décalage supérieur	-25,00
Partie supérieure attachée	<input type="checkbox"/>	Partie supérieure attachée	<input type="checkbox"/>
Extension supérieure	0,00	Extension supérieure	0,00
Limite de pièce	<input checked="" type="checkbox"/>	Limite de pièce	<input type="checkbox"/>

Figure 31 - Limite de pièce cochée et décochée pour deux occurrences de murs des modèles Revit

Pour le modèle multicouche, nous décochons les limites de pièce des parois intérieures (murs et planchers) qui font partie du même secteur énergétique. Nous obtenons ainsi le modèle et les surfaces analytiques associées des figures 32 et 33.

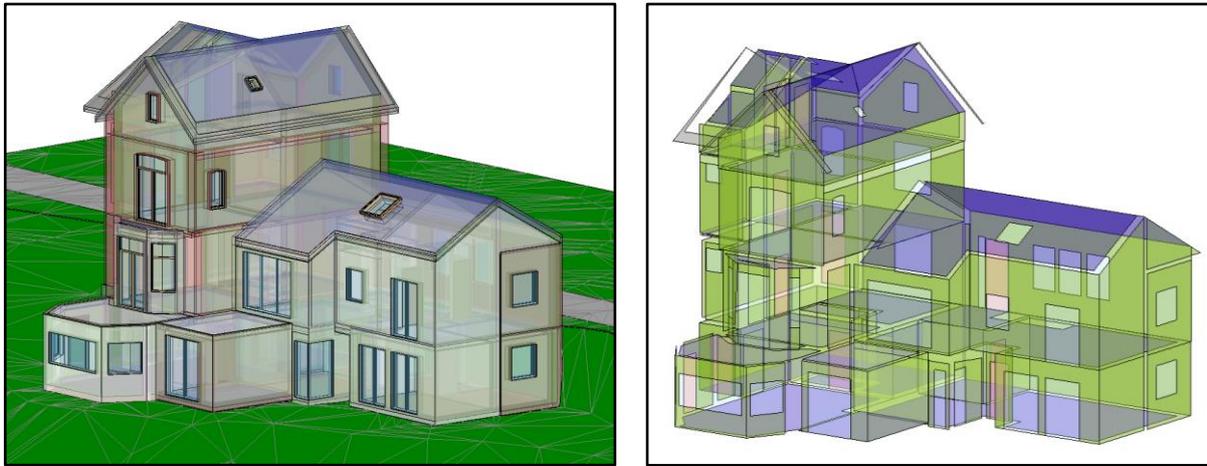


Figure 32 - Modèle analytique d'énergie généré dans Revit

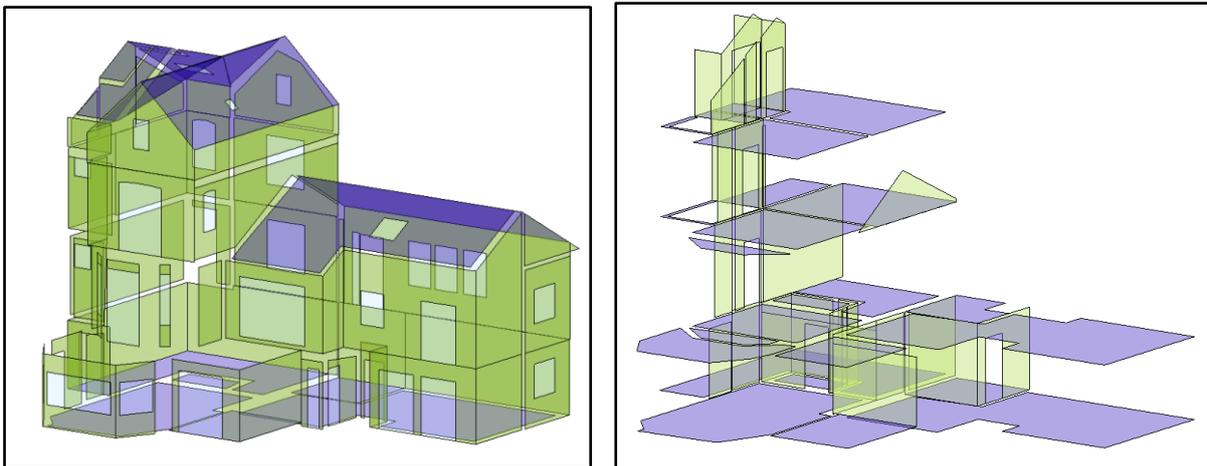


Figure 33 - Surfaces analytiques de l'enveloppe extérieure et des murs et planchers intérieurs générées dans Revit

Nous faisons de même pour le modèle monocouche mais effectuons une procédure supplémentaire. En effet, les couches d'une même paroi étant séparées et donc considérées comme des instances distinctes, Revit définit automatiquement la surface analytique par rapport à l'axe de la couche la plus interne (Figure 30). Pour pallier à cela et pour se rapprocher de la géométrie souhaitée pour le calcul PEB, nous désactivons les limites de pièces des couches internes des parois en contact avec l'extérieur. De cette manière, le logiciel définit les surfaces analytiques par rapport à l'axe de la couche externe des éléments de l'enveloppe extérieure (Figure 34).

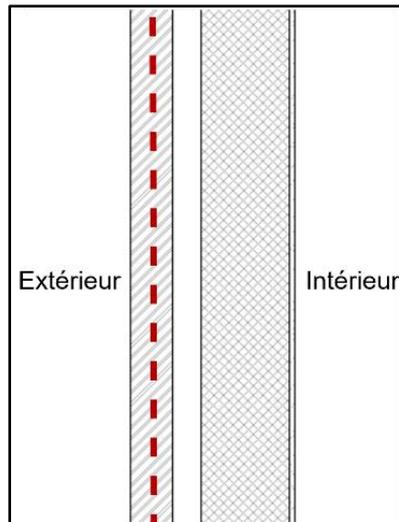


Figure 34 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche après modification de ses propriétés « Limite de pièce »

Les surfaces analytiques créées sont donc sensées être plus proches des surfaces encodées dans le logiciel PEB. Le modèle analytique d'énergie obtenu est représenté sur les figures 35 et 36.

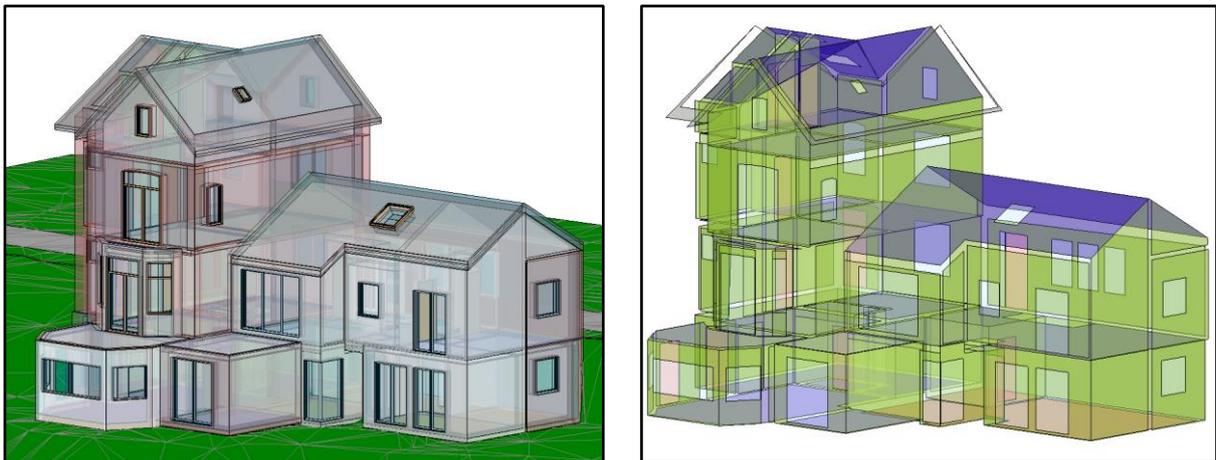


Figure 35 - Modèle analytique d'énergie généré dans Revit

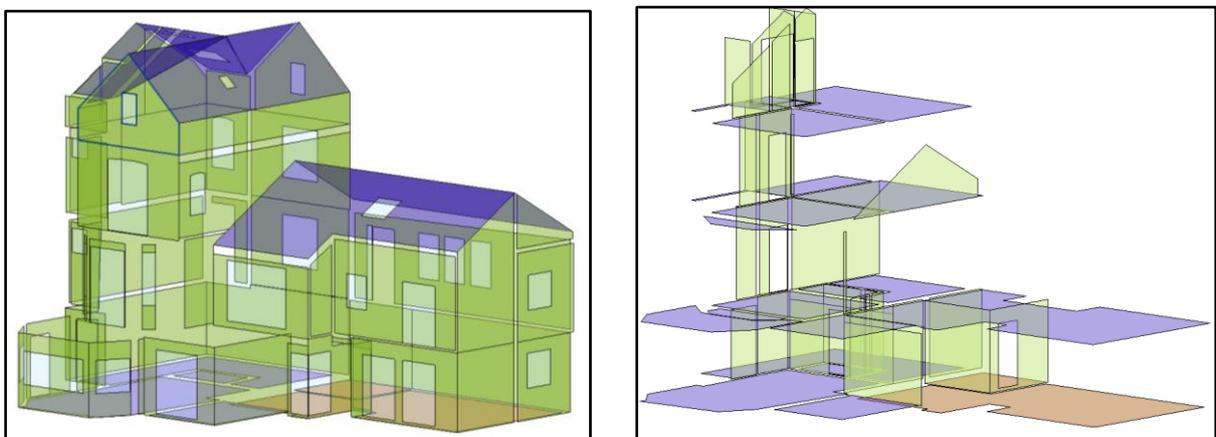


Figure 36 - Surfaces analytiques de l'enveloppe extérieure et des murs et planchers intérieurs générées dans Revit

Nous pouvons observer que les surfaces analytiques illustrées sur les figures 32, 33, 35 et 36 présentent des espacements plus ou moins grands et des arêtes irrégulières. Il s'agit en réalité de l'une des spécificités de l'algorithme qui génère automatiquement le modèle analytique d'énergie. En effet, pour gagner du temps et améliorer la performance du calcul, l'algorithme génère des surfaces approximatives qui ne forment pas toujours des volumes clos (Autodesk Knowledge Network, 2014 ; Autodesk Knowledge Network, 2016).

Nous remarquons cependant que, pour les deux modèles, les espacements au niveau de la loggia du rez-de-chaussée de la partie 1900 sont particulièrement grands par rapport aux autres (Figure 37). Nous vérifions donc le modèle architectural afin d'analyser si la précision des surfaces analytiques de cet élément peut être améliorée.

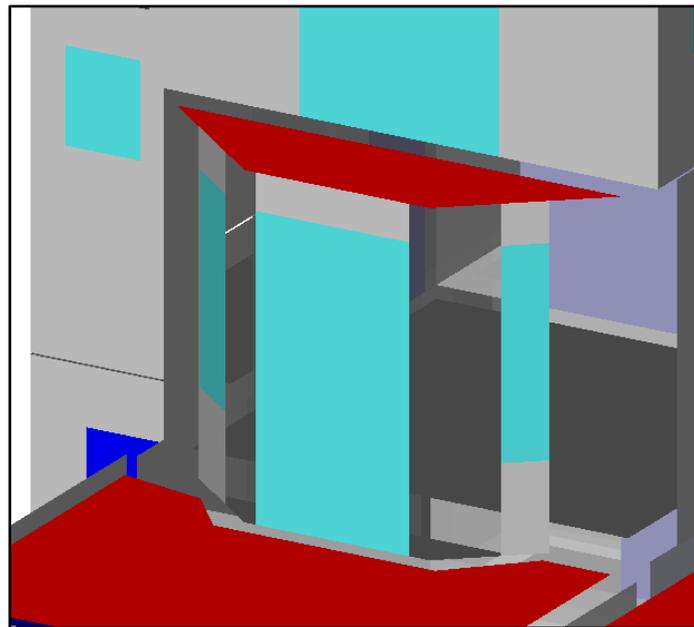


Figure 37 - Espacements importants au niveau de la loggia visualisés à partir du logiciel FZK

En analysant les jonctions entre les trois murs formant la loggia, nous remarquons que Revit a automatiquement créé une coupe de mur en « about » (Figure 38). Nous modifions donc la jonction pour une coupe en « onglet » puis recréons le modèle analytique d'énergie (Figure 39).

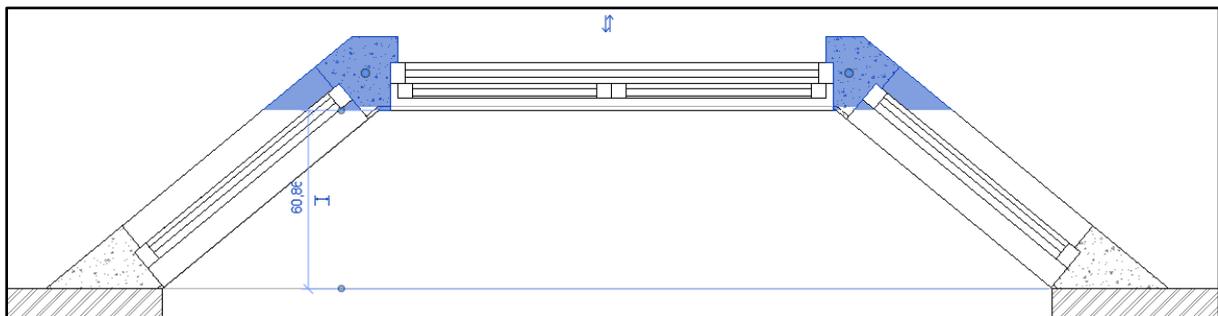


Figure 38 – Représentation d'une coupe d'about dans Revit

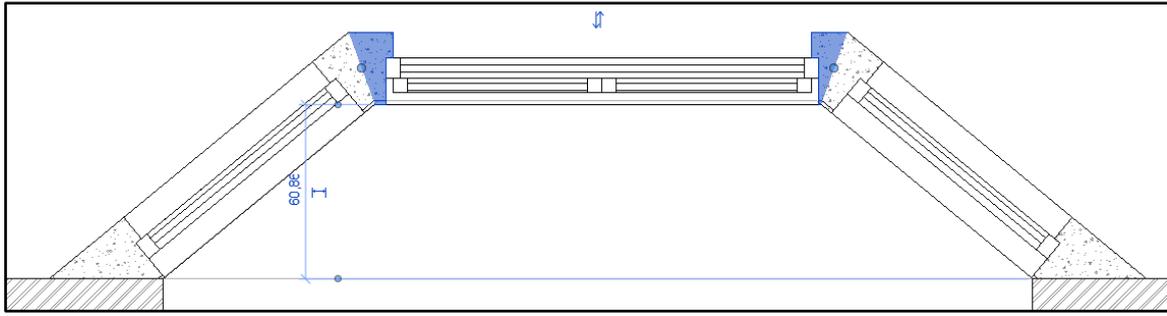


Figure 39 – Représentation d’une coupe en onglet dans Revit

Les surfaces analytiques sont cette fois légèrement plus grandes qu’au départ ce qui signifie que la précision du modèle a été améliorée en modifiant la jonction entre les murs (Figure 40).

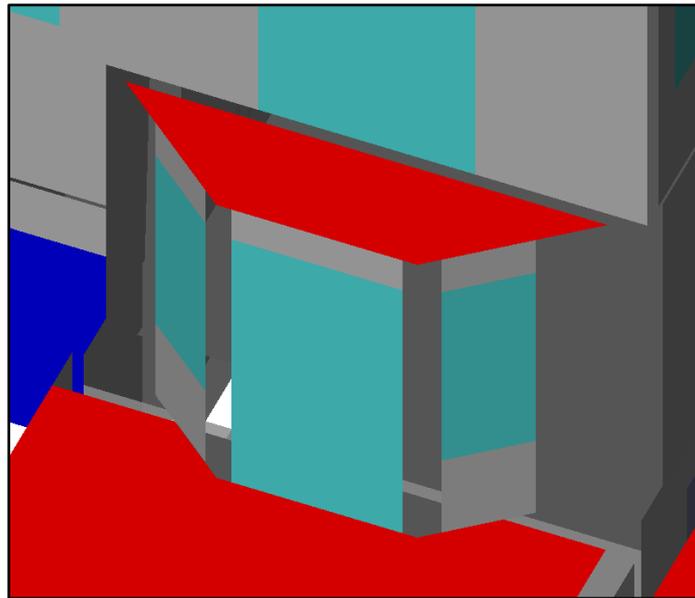


Figure 40 - Loggia modifiée et visualisée à partir du logiciel FZK

Après avoir amélioré la précision des modèles analytiques, les **surfaces des parois** sont obtenues en créant des nomenclatures de surfaces analytiques incluant les paramètres du tableau 24. Nous regroupons ensuite les éléments par type de surface et type d’ouverture et détaillons les occurrences.

Tableau 24 - Structuration de la nomenclature de surfaces analytiques dans Revit

MODÈLE	TYPE DE SURFACE	TYPE D’OUVERTURE	SURFACE
Monocouche et multicouche	Tri	Tri	-

Les données sont ensuite exportées, intégrées dans un fichier Excel et triées par secteur énergétique. Le traitement des données nécessite de regarder les surfaces directement sur le modèle énergétique car la nomenclature ne donne que le type de surface ou d’ouverture et ne détaille pas le nom de l’instance à laquelle elle fait référence. Cependant, la démarche reste relativement simple puisque la nomenclature ne contient que les surfaces strictement nécessaires à l’étude PEB. Les tableaux des surfaces des modèles analytiques sont présentés aux annexes 26 et 27.

Les **volumes des secteurs énergétiques** sont aussi déterminés à partir du modèle analytique. En effet, les surfaces analytiques des modèles délimitent des espaces analytiques (Figure 41). Une nomenclature

incluant un paramètre de volume peut être attribuée à ces espaces. Celle-ci est présentée à l'annexe 28 de ce travail.

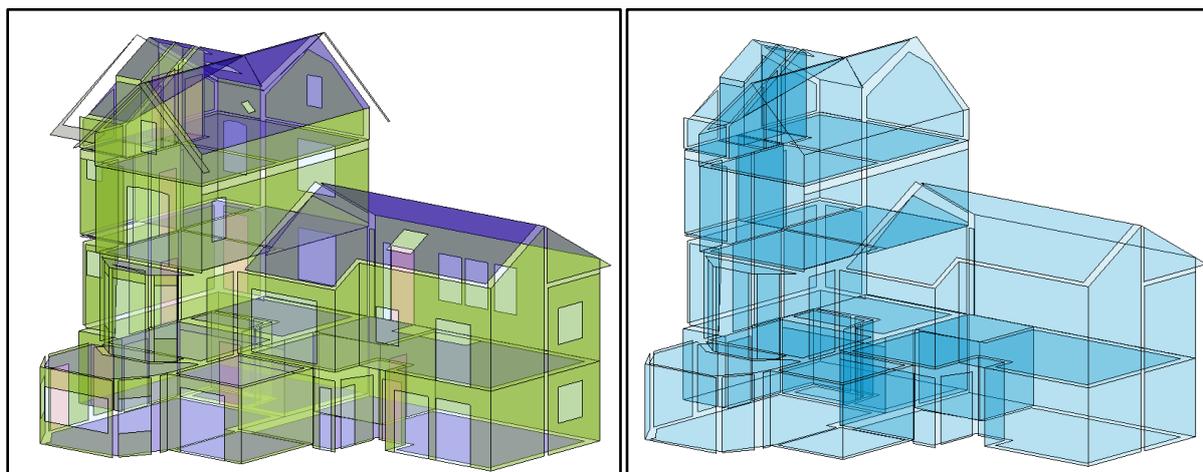


Figure 41 - Surfaces analytiques d'énergie et espaces analytiques correspondants issus de la modélisation dans Revit

Les tableaux comparatifs finaux seront présentés et détaillés dans le chapitre « Résultats et interprétations » de ce travail.

#### 4.3.2. Méthode de traitement des données

Pour estimer efficacement le potentiel d'exploitation des données Revit obtenues après traitement, celles-ci seront comparées aux données encodées dans le logiciel PEB en calculant un pourcentage de variation pour chaque élément (Tableau 25).

Tableau 25 – Exemple de calcul du pourcentage de variation de la surface d'un élément de mur entre le logiciel PEB et Revit

ELÉMENT	PARAMÈTRE	VALEUR PEB	VALEUR REVIT	VARIATION [%]
Mur	Surface	X	Y	$\frac{Y - X}{X} * 100$

Pour évaluer à quel moment cette variation est préjudiciable pour l'étude PEB, des seuils de variation sont fixés. Ceux-ci sont définis par rapport aux valeurs de deux indicateurs PEB mentionnés dans l'état de l'art : la consommation spécifique en énergie primaire et la performance de l'enveloppe.

Pour rappel, l'énergie spécifique d'une unité PEB est le rapport entre l'énergie primaire consommée annuellement et la surface totale de plancher chauffée de cette unité. La performance de l'enveloppe est quant à elle représentée par les besoins nets en énergie de chauffage qui correspondent à l'énergie qu'il faut fournir pour compenser les déperditions par ventilation, transmission et fuites d'air en déduisant les apports internes et solaires. Ces deux indicateurs permettent de comparer les bâtiments entre eux et sont représentés à l'aide de deux échelles de valeurs (Figures 42 et 43) : une échelle de classes énergétiques comprise entre A++ (bâtiment passif) et G (bâtiment énergivore) et une échelle de catégories de besoins en chauffage, depuis des besoins excessifs (250 kWh/m<sup>2</sup>an) jusqu'à des besoins minimales (60 kWh/m<sup>2</sup>an).

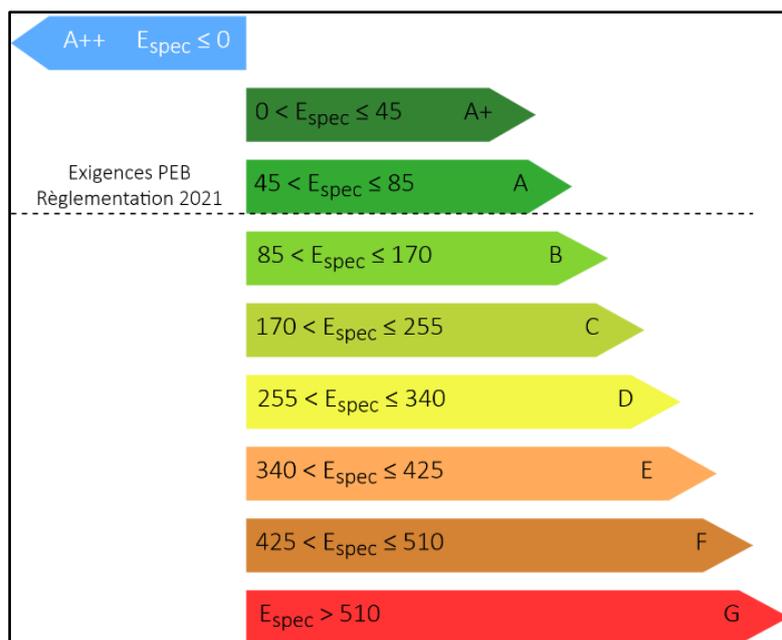


Figure 42 - Echelle de classes énergétiques

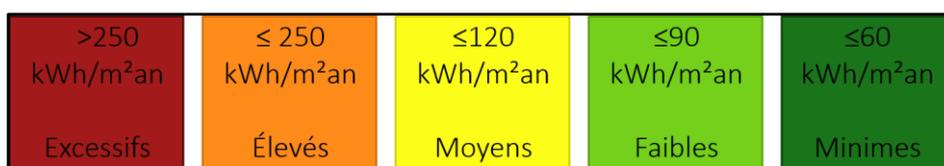


Figure 43 - Catégories de besoins nets en énergie de chauffage

Le tableau 26 rappelle les valeurs obtenues et les catégories associées des deux indicateurs lors de l'étude dans le logiciel PEB. Ce sont ces valeurs qui vont servir de référence pour calculer les seuils de variation.

Tableau 26 - Résultats des indicateurs  $E_{spec}$  et des BNE

UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m²an]	CLASSE ÉNERGÉTIQUE	BNE [kWh/m²an]	CATÉGORIE DE BNE
Appartement 1	316	D	133,71	Élevés
Appartement 2	523	G	239,32	Élevés
Appartement 3	371	E	164,94	Élevés
Appartement 4	301	D	130,3	Élevés
Appartement 5	742	G	336,31	Excessifs
Hall d'entrée – Local technique	-	-	-	-

Les seuils de variation sont déterminés en faisant fluctuer de manière itérative et indépendante les valeurs des paramètres encodées dans le fichier PEB initial. Pour rappel, ces paramètres sont : les surfaces de déperdition et les coefficients de transmission thermique U des parois, le volume protégé et la surface de plancher chauffée de chaque secteur énergétique.

Le seuil est alors fixé au pourcentage de variation pour lequel les résultats indiquent que la limite de classe énergétique ou de catégorie de performance de l'unité PEB est bientôt atteinte. Un code couleur spécifique est ensuite attribué au pourcentage de variation de chaque élément en fonction de l'écart acceptable défini par paramètre. Si le pourcentage excède la limite admissible, il est de couleur rouge, si sa valeur est sous la limite admissible, il est de couleur verte.

Le pourcentage limite de variation des **surfaces des parois** est déterminé pour chaque élément de construction en faisant varier leur surface par tranche de  $\pm 10\%$ .

Pour les éléments de murs, de sols et de toitures, les tableaux indiquent que l'écart admissible est compris entre  $\pm 10\%$  (Tableaux 27, 28 et 29). Les cases rouges indiquent que les valeurs sont proches de la limite de transition entre deux catégories.

Tableau 27 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de murs

VARIATION DES SURFACES DES MURS						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]
Variation surfaces murs de - 10%			Résultats de référence calcul PEB		Variation surfaces murs de + 10%	
Appartement 1	307	129,12	316	133,71	325	138,3
Appartement 2	510	232,12	523	239,32	537	246,54
Appartement 3	356	157,03	371	164,94	387	173,2
Appartement 4	284	121,73	301	130,3	317	138,68
Appartement 5	708	320,13	742	336,31	775	352,51

Tableau 28 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de sols

VARIATION DES SURFACES DES SOLS						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]
Variation surfaces sols de - 10%			Résultats de référence calcul PEB		Variation surfaces sols de + 10%	
Appartement 1	307	129,28	316	133,71	325	138,14
Appartement 2	512	233,91	523	239,32	534	244,75
Appartement 3	371	164,94	371	164,94	371	164,94
Appartement 4	301	130,32	301	130,3	301	130,28
Appartement 5	742	336,37	742	336,31	741	336,26

Tableau 29 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de toitures

VARIATION DES SURFACES DES TOITURES						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> /an]
Variation surfaces toitures de - 10%			Résultats de référence calcul PEB		Variation surfaces toitures de + 10%	
Appartement 1	316	133,73	316	133,71	316	133,69
Appartement 2	510	232,49	523	239,32	536	246,15
Appartement 3	366	162,33	371	164,94	376	167,55
Appartement 4	301	130,33	301	130,3	301	130,27
Appartement 5	713	322,38	742	336,31	771	350,24

Le pourcentage de variation admissible est plus grand pour les ouvertures (portes et fenêtres) et est fixé à  $\pm 20\%$ . Ce constat peut s'expliquer par le fait que leur superficie ne représente qu'un pourcentage restreint de la surface totale de l'enveloppe (Tableau 30).

Tableau 30 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces des ouvertures

VARIATION DES SURFACES DES OUVERTURES						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]
Variation surfaces ouvertures de - 20%			Résultats de référence calcul PEB		Variation surfaces ouvertures de + 20%	
Appartement 1	302	128,69	316	133,71	330	138,73
Appartement 2	511	234,41	523	239,32	535	244,23
Appartement 3	353	158,43	371	164,94	389	171,45
Appartement 4	289	125,57	301	130,3	313	135,03
Appartement 5	738	334,8	742	336,31	746	337,82

Une méthode similaire est suivie pour le **coefficient de transmission U** sans faire cette fois de distinction entre les éléments de construction (Tableau 31). Pour ce paramètre, la tolérance est fixée à  $\pm 5\%$  ce qui indique que ce coefficient a une grande influence sur les indicateurs et nécessite donc d'être calculé le plus précisément possible.

Tableau 31 - Valeurs des indicateurs après variation des coefficients U

VARIATION DU COEFFICIENT U						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]
Variation U de - 5%			Résultats de référence calcul PEB		Variation U de + 5%	
Appartement 1	307	129,15	316	133,71	326	138,9
Appartement 2	503	229,12	523	239,32	544	249,89
Appartement 3	358	158	371	164,94	385	172,22
Appartement 4	297	128,38	301	130,3	304	132,05
Appartement 5	715	323,14	742	336,31	770	350,26

La variation des **volumes protégés** de chaque unité PEB indique que l'écart maximum admissible est de  $\pm 30\%$  (Tableau 32).

Tableau 32 - Valeurs des indicateurs après variation du volume protégé de chaque unité PEB

VARIATION DU VOLUME PROTÉGÉ						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]
Variation volume protégé de - 30%			Résultats de référence calcul PEB		Variation volume protégé de + 30%	
Appartement 1	306	128,3	316	133,71	330	139,79
Appartement 2	511	233,04	523	239,32	535	244,71
Appartement 3	356	159,42	371	164,94	383	168,35
Appartement 4	287	123,53	301	130,3	312	135,72
Appartement 5	722	326,68	742	336,31	759	344,37

Les **surfaces de plancher chauffées** ont quant à elles une influence prépondérante sur les indicateurs à tel point que leur valeur ne peut différer que de -5 à +2% par rapport aux valeurs initiales (Tableau 33).

Tableau 33 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de planchers chauffées de chaque unité PEB

VARIATION DES SURFACES DE PLANCHERS CHAUFFÉES						
UNITÉ PEB	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> /an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]	$E_{spec}$ [kWh/m <sup>2</sup> an]	BNE [kWh/m <sup>2</sup> an]
Variation surfaces de planchers chauffées de - 3%			Résultats de référence calcul PEB		Variation surfaces de planchers chauffées de + 2%	
Appartement 1	326	137,83	316	133,71	310	131,09
Appartement 2	539	246,72	523	239,32	513	234,65
Appartement 3	382	170,03	371	164,94	363	161,71
Appartement 4	310	134,33	301	130,3	295	127,74
Appartement 5	764	346,71	742	336,31	727	329,72

Il est important de mettre en évidence la subjectivité de cette méthode. En effet, les seuils de variation sont fixés par rapport aux valeurs initiales des indicateurs. Ceux-ci sont donc dépendants du projet étudié. Par ailleurs, si la valeur d'un indicateur se trouve dès le départ proche de la limite de transition entre deux catégories, le pourcentage de variation acceptable sera d'office plus faible. Cette méthode n'est donc pas applicable à tous les projets mais est uniquement spécifique au cas d'étude de ce travail.

Le chapitre « Résultats et interprétations » détaille les pourcentages de variation des valeurs des paramètres de chaque élément Revit par rapport à celles calculées pour l'étude PEB et leur associe un code couleur sur base des seuils limites fixés dans cette section.

## 4.4. Préparation des modèles pour une simulation énergétique

### 4.4.1. Protocole

Contrairement à la première mise en application dont l'objectif est d'étudier le potentiel d'exploitation des modèles pour une étude réglementaire thermique, la seconde mise en application vise à estimer leur potentiel d'exploitation pour une simulation énergétique dans Green Building Studio. Le choix s'est porté sur ce logiciel car il s'agit d'un produit Autodesk, ce qui limite dès le départ les risques de problèmes d'interopérabilité.

La première étape de la démarche est consacrée à la préparation des modèles pour un export GBXML. Cette phase préparatoire consiste à définir des espaces, c'est-à-dire l'ensemble des pièces du bâtiment, dans chacun des modèles (Figure 44). Comme nous l'avons mentionné dans le point 4.2.8. relatif au réglage des paramètres énergétiques globaux, chacun de ces espaces peut contenir diverses informations telles que le type de condition, le nombre d'occupants, l'éclairage, la ventilation, ... Lors de la création du modèle analytique d'énergie préalable à l'export GBXML, ces informations sont alors récupérées, assignées aux espaces analytiques et utilisées pour la simulation. Pour pouvoir déterminer ces espaces, il est nécessaire de réactiver au préalable l'option « Limite de pièce » de toutes les parois des modèles qui avaient été ignorées dans la mise en application précédente.

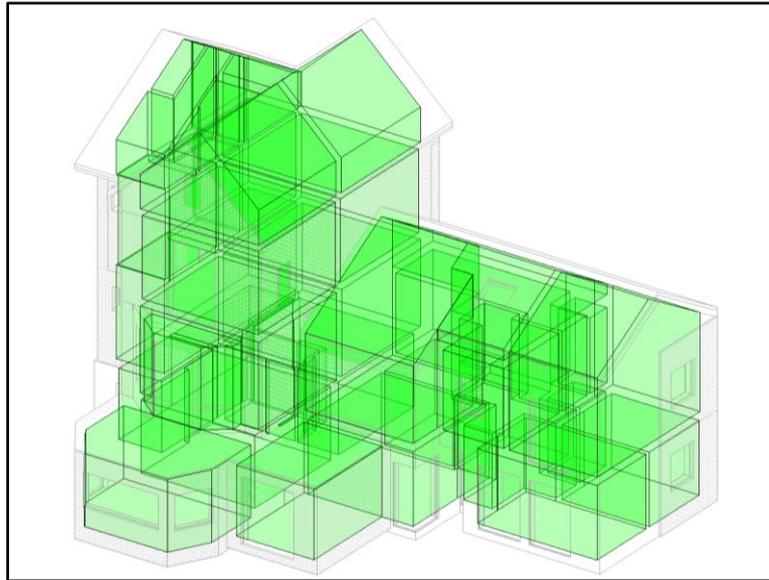


Figure 44 - Représentation des espaces dans le modèle Revit

Après avoir défini l'ensemble des espaces, nous les regroupons en « zones HVAC » c'est-à-dire en zones caractérisées par des installations (chauffage, ventilation, climatisation) et des conditions de température identiques (Figure 45). Nous regroupons donc les espaces selon les mêmes secteurs énergétiques que ceux définis pour l'étude PEB.

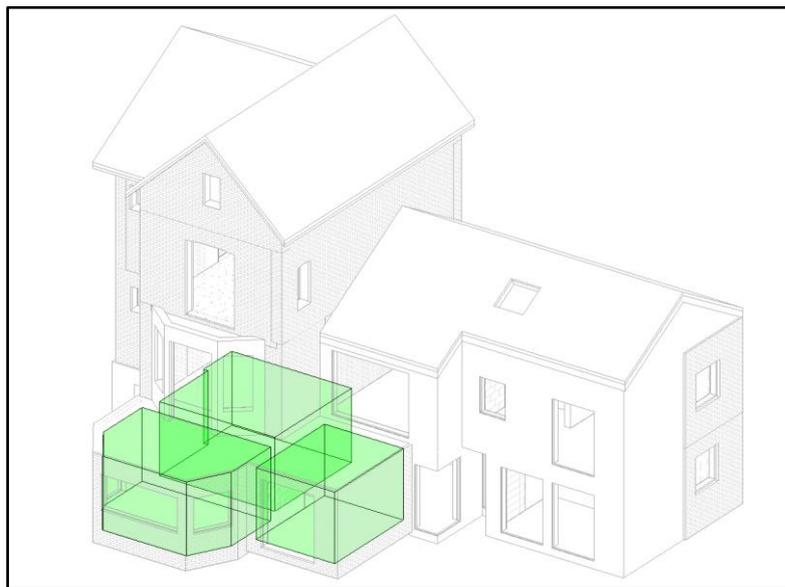


Figure 45 - Zone thermique associée au secteur énergétique 2A dans le modèle Revit

Les espaces et zones sont identiques dans les deux modèles. Les nomenclatures détaillant l'ensemble de leurs caractéristiques sont disponibles aux annexes 29 et 30.

Les modèles monocouche et multicouche sont ensuite exportés au format GBXML en prenant soin de sélectionner l'exportation basée sur les paramètres énergétiques. Ce type d'export permet ainsi de récupérer l'ensemble des propriétés thermiques et analytiques des éléments de construction définis dans Revit.

Les fichiers GBXML obtenus sont ouverts dans le logiciel FZK puis comparés aux modèles Revit afin d'évaluer l'intégrité du transfert des données en amont de la simulation. Après cette première analyse, la simulation est testée dans Green Building Studio.

Au terme de cette analyse, Green Building Studio génère des résultats sous différents formats incluant le GBXML. Une seconde comparaison est finalement effectuée entre ce fichier et le fichier GBXML exporté de Revit en vue d'estimer l'intégrité du transfert des données en aval de la simulation (Figure 46).

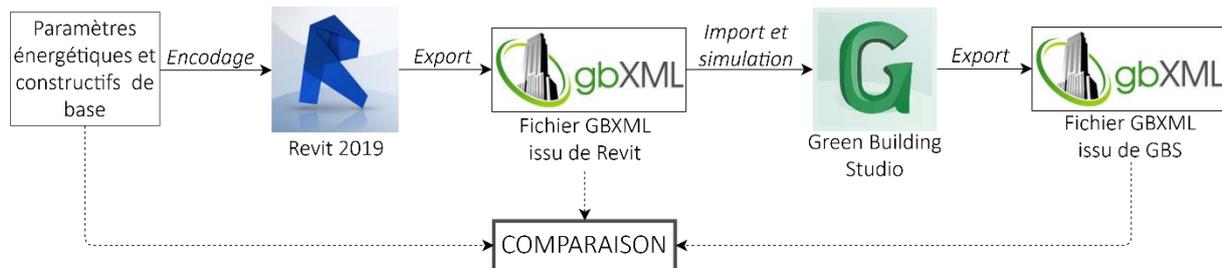


Figure 46 - Processus d'évaluation de l'intégrité du transfert des données

#### 4.4.2. Paramètres d'analyse

Pour évaluer l'intégrité du transfert de données entre les fichiers et ainsi estimer le potentiel d'exploitation des modèles, l'étude comparative porte sur les cinq paramètres suivants :

- Les données géométriques et la fonction de chacune des parois : les paramètres analysés portent donc sur les surfaces des parois et sur leur environnement (extérieur, sol, intérieur). Ces données sont essentielles pour le calcul des déperditions thermiques à travers l'enveloppe.
- Les propriétés des matériaux : il s'agit des propriétés thermiques et analytiques utilisées pour l'étude énergétique.
- L'emplacement et les données météorologiques du projet : ces informations permettent de déterminer les températures de calcul du chauffage et du refroidissement.
- Les apports internes : ceux-ci sont déterminés par l'énergie apportée par les occupants, les équipements et l'éclairage.
- Les scénarios d'occupation et d'exploitation : ces données incluent les heures d'occupation du bâtiment qui permettent de définir le point de consigne du chauffage ou du refroidissement. Elles comprennent également les horaires d'éclairage et d'utilisation des équipements pendant lesquels des gains de chaleur se produisent.

---

# RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

---

## 5. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

Ce chapitre présente les résultats des deux mises en application dont les protocoles ont été détaillés dans le chapitre 4 relatif à la méthodologie. Pour rappel, celles-ci ont pour but d'évaluer le potentiel d'exploitation des informations des modèles monocouche et multicouche pour réaliser un calcul réglementaire dans le logiciel PEB et une simulation énergétique dans Green Building Studio. Pour chacune d'entre elles, nous décrivons tout d'abord comment les résultats ont été synthétisés pour être facilement analysés. Dans un second temps, nous tenterons d'interpréter ces derniers pour aboutir à la phase de discussions qui sera développée dans le chapitre 6 et permettra d'apporter des éléments de réponse aux questions de recherche.

### 5.1. Étude du potentiel d'exploitation des modèles pour une étude thermique réglementaire

#### 5.1.1. Présentation des résultats

Les données quantitatives Revit recueillies et traitées dans des tableaux intermédiaires et les valeurs encodées dans le logiciel PEB sont regroupées dans un tableur Excel afin d'être facilement comparées entre elles. Tous les résultats sont regroupés en trois colonnes distinctes : la première indique les valeurs issues du logiciel PEB tandis que les deux dernières colonnes regroupent les données du modèle monocouche et du modèle multicouche. Un tableau comparatif distinct est attribué par paramètre étudié. Un extrait du tableau de chacun des paramètres est présenté dans ce point pour illustrer la méthode de synthèse des résultats.

Les données du tableau comparatif des **surfaces des parois** sont regroupées par secteurs énergétiques et éléments de construction. Le tableau 34 illustre un extrait relatif au secteur énergétique 1B :

Tableau 34 - Extrait du tableau comparatif des surfaces de parois

PEB				MODÈLE MONOCOUCHE				MODÈLE MULTICOUCHE			
ELÉM.	NOM	SURF. [m <sup>2</sup> ]	ENVIR.	CONSTRUCTIF		ANALYTIQUE		CONSTRUCTIF		ANALYTIQUE	
				SURF. [m <sup>2</sup> ]	VARIAT°						
<b>SECTEUR 1B</b>											
MURS	2007 Mur enterré ép. 402	7,84	Sol	7,17	-9%	7,61	-3%	7,5	-4%	7,54	-4%
	1900 Mur intérieur ép. 624 entre 1B/Communs	8,42	Adjacent autre unité PEB	7,34	-13%	6,49	-23%	7,32	-13%	6,48	-23%
	2007 Mur intérieur ép. 164 entre 1A/1B	14,37	Adjacent même unité PEB	11,17	-22%	13,33	-7%	10,38	-28%	13,16	-8%
PLANCHERS / PLAFONDS	2007 Dalle de sol ép. 250	8,39	Sol	8,41	0%	7,85	-6%	8,41	0%	7,85	-6%
	2007 Plafond appart. 1 ép. 270 (Plancher appart. 3) entre 1B/3	8,39	Adjacent autre unité PEB	8,41	0%	6,82	-19%	8,41	0%	7,85	-6%
PORTES	2007 Porte intérieure entre 1A/1B	1,89	Adjacent même unité PEB	1,91	1%	1,91	1%	1,91	1%	1,91	1%

La colonne relative au logiciel PEB indique le type d'élément étudié, son nom, sa surface et son environnement. Les colonnes relatives aux modèles Revit sont quant à elles séparées en deux sous-colonnes de manière à distinguer les résultats du modèle constructif et du modèle analytique d'énergie.

Le tableau comparatif des **propriétés thermiques** (Tableau 35) est présenté selon le même principe que le tableau des surfaces des parois sans distinguer cette fois le modèle constructif du modèle analytique. En effet, ces propriétés sont extraites des modèles constructifs uniquement.

Tableau 35 - Extrait du tableau comparatif des propriétés thermiques

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE						MODÈLE MULTICOUCHE			
ELÉM.	NOM	ENVIR.	R [m <sup>2</sup> K /W]	U [W/ m <sup>2</sup> K]	R [m <sup>2</sup> K /W]	VARIAT° R	U [W/ m <sup>2</sup> K]	VARIAT° U	R [m <sup>2</sup> K/ W]	VARIAT° R	U [W/m <sup>2</sup> K]	VARIAT° U
MURS	1900 Mur extérieur ép. 470 (Pierre)	Extérieur	0,35	2,86	0,18	-49%	5,56	94%	0,18	-49%	5,56	94%
	1900 Mur extérieur ép. 392 (Brique)	Extérieur	0,49	2,06	0,32	-35%	3,13	52%	0,32	-35%	3,13	52%

Le tableau comparatif du **volume protégé** de chaque secteur énergétique se divise en six colonnes comme représenté au tableau 36. Les valeurs issues de Revit ont été obtenues à partir des modèles analytiques uniquement.

Tableau 36 - Extrait du tableau comparatif des volumes protégés

PEB		MODÈLE ANALYTIQUE MONOCOUCHE		MODÈLE ANALYTIQUE MULTICOUCHE	
NOM	VOLUME [m <sup>3</sup> ]	VOLUME [m <sup>3</sup> ]	VARIATION	VOLUME [m <sup>3</sup> ]	VARIATION
Communs	172,2	107,95	-37%	105,98	-38%
Secteur énergétique 1A	149,24	122,18	-18%	110,25	-26%

Le tableau comparatif des **surfaces de plancher chauffées** de chaque unité PEB comprend quatre colonnes (Tableau 37). En effet, comme mentionné dans le chapitre relatif à la méthodologie, les surfaces des modèles Revit ont été obtenues sur base de plans de surfaces qui ne dépendent pas de la manière dont le bâtiment a été modélisé. Il n'y a donc pas lieu de distinguer modèle monocouche et multicouche.

Tableau 37 - Extrait du tableau comparatif des surfaces de plancher chauffées

PEB		MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE	
NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION
Unité PEB 1	61,78	61,72	0%
Unité PEB 2	54,52	54,53	0%

La section suivante interprétera les résultats obtenus pour chaque paramètre étudié sur base du code couleur attribué à chaque élément.

## 5.1.2. Interprétation des résultats

### Surfaces de déperdition des parois

Le code couleur du tableau 38 relatif aux pourcentages de variation des **surfaces de murs** par rapport à l'étude PEB démontre une certaine hétérogénéité d'une instance à l'autre. Certaines cases sont vertes et indiquent que la valeur est proche de celle calculée pour l'encodage PEB, d'autres surfaces sont au contraire éloignées de la valeur souhaitée.

Tableau 38 - Comparaison des surfaces de murs

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION			
			Constructif	Analytique	Constructif	Analytique
1A	2007 Mur extérieur ép. 292 (Enduit)	23,98	6%	-14%	5%	-14%
1A	200 Mur extérieur ép. 352 (Parement)	6,57	6%	-12%	6%	-15%
2A	1900 Mur extérieur ép. 470 (Pierre)	3,80	-13%	-34%	-14%	-39%
2A	2007 Mur extérieur ép. 352 (Parement)	15,72	-5%	-7%	-9%	-20%
2A	1980 Mur extérieur ép. 282 (Parement)	19,29	4%	-25%	-8%	-32%
3	1980 Mur extérieur ép. 252 (Loggia)	7,57	-24%	-71%	-28%	-71%
3	1900 Mur extérieur ép. 392 (Brique)	20,23	18%	-26%	8%	-30%
3	2007 Mur extérieur ép. 292 (Enduit)	41,57	-17%	-13%	-17%	-6%
3	1900 Mur extérieur ép. 395 (Brique)	4,12	5%	-39%	-24%	-40%
3	2007 Mur extérieur ép. 352 (Parement)	33,90	-10%	-15%	-12%	-5%
3	1900 Mur extérieur ép. 562	9,33	-	-	-	-
Communs	1900 Mur extérieur ép. 462	4,10	-2%	-40%	-1%	-40%
Communs	1900 Mur extérieur ép. 392	37,62	-8%	-27%	-8%	-27%
Communs	1900 Mur extérieur ép. 432	13,95	-2%	-16%	-1%	-12%
4	1900 Mur extérieur ép. 432	60,52	6%	-12%	5%	-13%
5A	1900 Mur extérieur ép. 392 (Brique)	39,12	-12%	-5%	-15%	-15%
5B	1900 Mur extérieur ép. 452	6,14	1%	-3%	-12%	-5%
1A	2007 Mur enterré ép. 402	19,88	2%	-3%	3%	-6%
1B	2007 Mur enterré ép. 402	7,84	-9%	-3%	-4%	-4%
Communs	1900 Mur enterré ép. 562	30,17	12%	12%	11%	11%
1A-2A	2007 Mur intérieur ép. 214	9,50	-19%	-17%	-30%	-23%
1A-2A	1900 Mur intérieur ép. 624	6,59	-22%	-8%	-15%	-8%
1A-Communs	1900 Mur intérieur ép. 624	4,30	-2%	-12%	0%	-12%
1A-1B	2007 Mur intérieur ép. 164	14,37	-22%	-7%	-28%	-8%
1B-Communs	1900 Mur intérieur ép. 624	8,42	-13%	-23%	-13%	-23%
Communs-2A	1900 Mur intérieur ép. 404	5,19	-32%	-20%	-31%	-21%
Communs-2A	1900 Mur intérieur ép. 100	4,52	-26%	-16%	-26%	-16%
2A-2B	1900 Mur intérieur ép. 404	5,38	-10%	-24%	-13%	-24%
2A-Communs	1900 Mur intérieur ép. 260	4,03	-42%	-32%	-43%	-33%
2B-Communs	1900 Mur intérieur ép. 252	4,69	-24%	-10%	-25%	-10%
2B-Communs	1900 Mur intérieur ép. 104	11,90	-22%	-18%	-23%	-18%

3-Communs	1900 Mur intérieur ép. 160	18,24	-13%	-14%	-18%	-13%
3-Communs	1900 Mur extérieur ép. 160	3,05	-5%	-23%	-6%	-20%
3-4	1900 Mur ép. 432	7,58	-	-11%	-	-43%
4-Communs	1900 Mur intérieur ép. 10	6,34	-27%	-16%	-29%	-10%
4-Communs	1901 Mur intérieur ép. 160	4,13	-23%	-36%	-21%	-36%
4-Communs	1902 Mur intérieur ép. 160	3,09	-9%	-23%	-14%	-28%
5A-Communs	1900 Mur intérieur ép. 100	4,44	-24%	-14%	-23%	-53%
5A-Communs	1900 Mur intérieur ép. 154	3,55	-33%	-17%	-34%	-42%
5A-Communs	1900 Mur intérieur ép. 84	2,53	-23%	-15%	-24%	-42%
5B-Communs	1900 Mur intérieur isolé ép. 100	5,75	-34%	-26%	-37%	-16%
5A-5B	1900 Mur intérieur ép. 100	3,81	-33%	-17%	-39%	-21%

En ce qui concerne les modèles constructifs, cette variabilité s'explique principalement par le fait que la surface considérée par la méthode PEB est différente de la surface que Revit calcule. Les modèles constructifs ont, comme leur nom l'indique, été modélisés pour correspondre à la réalité constructive du projet. Cela signifie que Revit calcule les surfaces des parois telles qu'elles sont ou seront construites à partir d'un modèle physique du bâtiment. Or, la PEB définit les surfaces des parois par rapport à un modèle conceptuel qui simplifie cette réalité. Cette différence peut être illustrée par la figure 47 ci-dessous qui représente un mur porteur intérieur reposant sur la dalle de sol du rez-de-jardin :

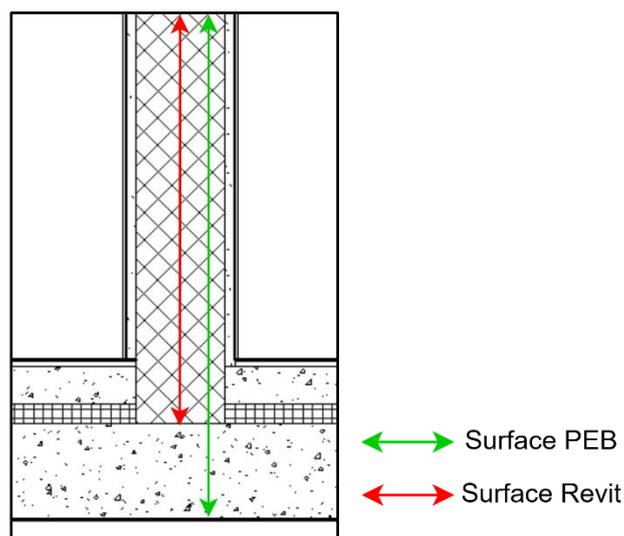


Figure 47 – Détail d'un raccord dalle de sol et mur intérieur

Alors que Revit calcule la surface du mur jusqu'à la partie supérieure de la dalle de sol, la méthode PEB considère une surface de mur qui se prolonge jusqu'à la partie inférieure de la dalle.

En outre, les cases vides du tableau indiquent que certaines surfaces n'ont pas été calculées à partir des modèles constructifs. Il s'agit du mur mitoyen qui sépare les appartements 3 et 4 (Figure 48) et du mur du rez-de-jardin dont une partie est contre terre et l'autre partie est en contact avec l'extérieur (Figure 49). En effet, pour les obtenir, il aurait fallu modifier les profils des murs suivant des contours irréguliers. Cette manipulation était évidemment possible à réaliser mais peu adaptée dans le cas d'un modèle constructif. C'est pourquoi nous avons choisi de ne pas les définir dans ce modèle.

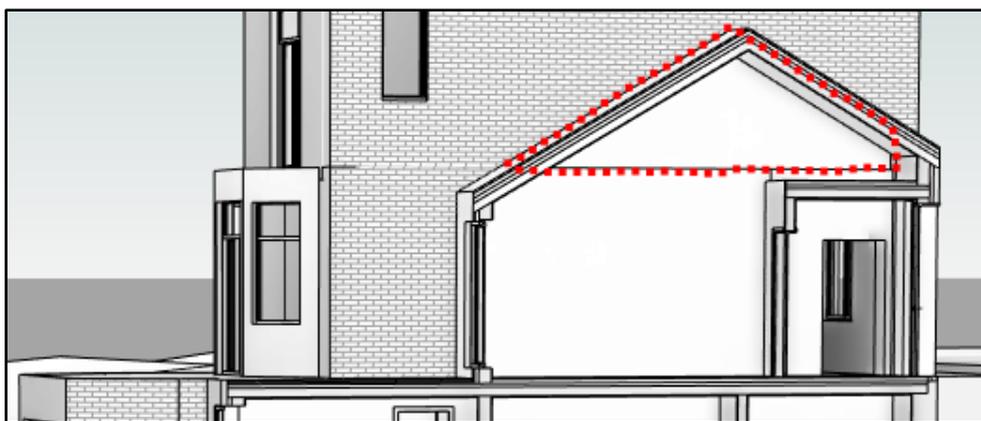


Figure 48 – Représentation du mur mitoyen entre les appartements 3 et 4 dans le modèle Revit

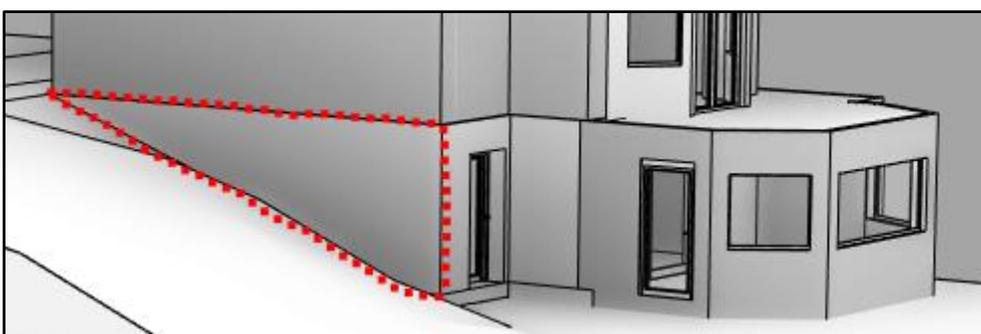


Figure 49 – Représentation du mur extérieur du rez-de-jardin dans le modèle Revit

Par ailleurs, nous pouvons remarquer que les pourcentages de variation des surfaces du modèle monocouche et multicouche sont globalement proches. Cette observation révèle que la précision du modèle monocouche n'est finalement pas beaucoup plus élevée que le modèle multicouche.

Les modèles analytiques présentent également des pourcentages de variation assez diversifiés entre les instances de murs. La répartition du code couleur par rapport aux modèles constructifs démontre que certaines surfaces sont définies avec plus de justesse dans les modèles analytiques et que d'autres sont par contre moins précises que celles des modèles constructifs. Le constat est similaire en comparant les pourcentages des deux types de modèles analytiques. Les pourcentages de variation des surfaces analytiques du modèle monocouche sont globalement les mêmes que ceux du modèle multicouche. Cependant, pour certaines instances, nous remarquons des différences notables qui peuvent être justifiées par plusieurs raisons.

La première est liée à la position de la surface analytique par rapport aux parois. Rappelons que la surface est positionnée par rapport à l'axe de la couche la plus externe pour le modèle monocouche tandis qu'elle est définie par rapport à l'axe de l'épaisseur totale pour le modèle multicouche.

La seconde raison est liée à la manière dont l'algorithme de calcul va interpréter les éléments de chaque modèle constructif et générer des surfaces analytiques. En effet, comme mentionné dans le chapitre 4 relatif à la méthodologie, les surfaces analytiques sont définies approximativement par l'algorithme pour rendre le calcul plus rapide. Par conséquent, l'enveloppe qu'elles forment n'est pas complètement close. Ainsi, certaines surfaces vont peut-être être séparées par des espacements dans le modèle monocouche tandis que ceux-ci n'apparaîtront pas dans le modèle multicouche, induisant ainsi des différences de pourcentages entre les deux modèles. Cela signifie que les surfaces obtenues ne

dépendent pas entièrement de la modélisation mais aussi des hypothèses émises par l'algorithme de calcul qui crée les modèles analytiques.

Contrairement au tableau précédent, l'analyse du tableau 39 relatif aux **surfaces de planchers** indique que, pour les modèles constructifs, les valeurs calculées par Revit coïncident pratiquement avec celles encodées pour l'étude PEB. Au contraire, les surfaces des modèles analytiques s'en trouvent éloignées et présentent une majorité de pourcentages de variation au-delà des limites admissibles.

Comme nous l'avons détaillé dans le chapitre précédent relatif à la méthodologie, les surfaces de planchers des modèles constructifs n'ont pas été déterminées à partir des instances de sols mais à partir de surfaces détournées manuellement dans des plans spécifiques. Les pourcentages de variation par rapport à la PEB sont donc proches de 0. Rappelons également que cette méthode a l'avantage d'être indépendante du type de modélisation utilisé.

A contrario, les surfaces analytiques de planchers sont générées à partir des modèles constructifs et présentent les mêmes limites et hypothèses que celles énoncées pour les surfaces de murs.

Tableau 39 - Comparaison des surfaces de planchers/plafonds

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION			
			Constructif	Analytique	Constructif	Analytique
3	2007 Retour enduit ép. 340 (Plancher appart. 3)	0,84	0%	4%	0%	36%
1A	2007 Dalle de sol ép. 250	53,21	0%	-14%	0%	-24%
1B	2007 Dalle de sol ép. 250	8,39	0%	-6%	0%	-6%
2A	1900 Dalle de sol ép. 320	37,74	0%	-13%	0%	-18%
2A	2007 Dalle de sol ép. 250	12,26	0%	-12%	0%	-10%
2B	1900 Dalle de sol ép. 320	4,33	4%	-30%	4%	-46%
Communs	1900 Dalle de sol ép. 320	32,51	0%	-39%	0%	-25%
1A-3	2007 Plafond appart. 1 ép. 270 (Plancher appart. 3)	53,82	0%	-10%	0%	-25%
1B-3	2007 Plafond appart. 1 ép. 270 (Plancher appart. 3)	8,39	0%	-19%	0%	-6%
2A-3	1900 Plafond appart. 2 ép. 220 (Plancher appart. 3)	20,41	0%	-28%	0%	-28%
2A-3	1900 Plafond appart. 2 ép. 225 (Plancher appart. 3)	2,48	0%	9%	0%	5%
2B-3	1900 Plafond appart. 2 ép. 220 (Plancher appart. 3)	4,33	4%	-28%	4%	-44%
Communs-3	1900 Plafond communs ép. 220 (Plancher appart. 3)	15,82	0%	-35%	0%	-35%
3-4	1900 Plafond appart. 3 ép. 220 (Plancher appart. 4)	42,15	0%	-18%	0%	-19%
Communs-4	1901 Plafond communs ép. 220 (Plancher appart. 4)	9,46	0%	-12%	0%	-36%
Communs-5	1902 Plafond appart. 4 ép. 220 (Plancher communs)	1,04	-3%	-35%	-3%	0%
Communs-5B	1900 Plafond communs isolé ép. 220 (Plancher appart. 5)	1,24	0%	-24%	0%	-28%
4-5A	1900 Plafond appart. 4 ép. 220 (Plancher appart. 5)	48,98	0%	-26%	0%	-26%
4-5B	1900 Plafond appart. 4 isolé ép. 220 (Plancher appart. 5)	1,49	0%	-18%	0%	-20%

Le tableau 40 démontre une grande consistance entre les **surfaces de fenêtres** des modèles constructifs et les surfaces calculées pour l'étude PEB. Cette consistance est due au paramétrage des familles de fenêtres. En effet, la hauteur et la largeur des baies ont été déterminées par rapport à la vue extérieure indépendamment du modèle.

Tableau 40 - Comparaison des surfaces de fenêtres

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION			
			Constructif	Analytique	Constructif	Analytique
1A	2007 Porte-fenêtre 2 vantaux chambres S 1	3,06	0%	0%	0%	0%
1A	2007 Porte-fenêtre 2 vantaux chambres S 2	3,06	0%	0%	0%	0%
1A	2007 Fenêtre d'angle S	4,01	-7%	-2%	-7%	-36%
1A	2007 Fenêtre un vantail cuisine E	1,39	0%	0%	0%	7%
2A	2007 Porte-fenêtre 2 vantaux chambres S	4,03	0%	0%	0%	0%
2A	1980 Fenêtre fixe cuisine S 1	1,39	0%	0%	0%	6%
2A	1980 Fenêtre fixe cuisine S 2	3,02	0%	0%	0%	4%
2A	1980 Fenêtre fixe cuisine S 3	1,39	0%	0%	0%	7%
3	2007 Velux S	1,23	0%	-15%	0%	-15%
3	2007 Fenêtre un vantail chambre E	1,39	0%	0%	0%	7%
3	2007 Fenêtre WC N	1,39	0%	0%	0%	8%
3	2007 Fenêtre fixe hall d'entrée N 1	1,39	0%	0%	0%	8%
3	2007 Fenêtre fixe hall d'entrée N 2	1,39	0%	0%	0%	8%
3	2007 Porte-fenêtre 2 vantaux chambre S	3,06	0%	0%	0%	0%
3	2007 Fenêtre SDB S	1,04	0%	0%	0%	10%
3	2007 Porte-fenêtre 3 vantaux cuisine S	5,50	3%	0%	3%	6%
3	1900 Fenêtre fixe séjour S 1	1,51	1%	-11%	1%	-3%
3	1900 Fenêtre séjour N	2,84	-3%	-2%	-3%	-3%
3	1900 Fenêtre fixe séjour S 2	1,51	1%	-29%	1%	-13%
3	1900 Porte-fenêtre 2 vantaux séjour S	3,73	0%	5%	0%	-5%
Communs	1900 Fenêtre communs S 1	0,48	0%	17%	0%	16%
Communs	1900 Fenêtre communs S 2	0,48	0%	-8%	0%	-9%
4	1900 Porte-fenêtre 2 vantaux séjour S	4,20	2%	4%	2%	4%
4	1900 Fenêtre séjour E	0,91	4%	11%	4%	11%
4	1900 Fenêtre chambre N	2,85	-3%	-3%	-3%	-3%
4	1900 Fenêtre SDB N	1,55	1%	8%	1%	8%
5A	1900 Velux S	0,28	0%	-18%	0%	-46%
5A	1900 Velux N	1,18	-8%	0%	-8%	-24%
5A	1900 Fenêtre chambre S	0,57	5%	19%	5%	19%
5A	1900 Fenêtre chambre N	0,58	0%	16%	0%	15%

Des pourcentages de variation plus élevés sont toutefois observés pour quatre types de fenêtres dans les modèles analytiques.

Les premières sont des baies situées à proximité de jonctions entre deux éléments de murs et pour lesquels l’algorithme n’a pas pu définir de liaison continue (Figures 50 et 51).

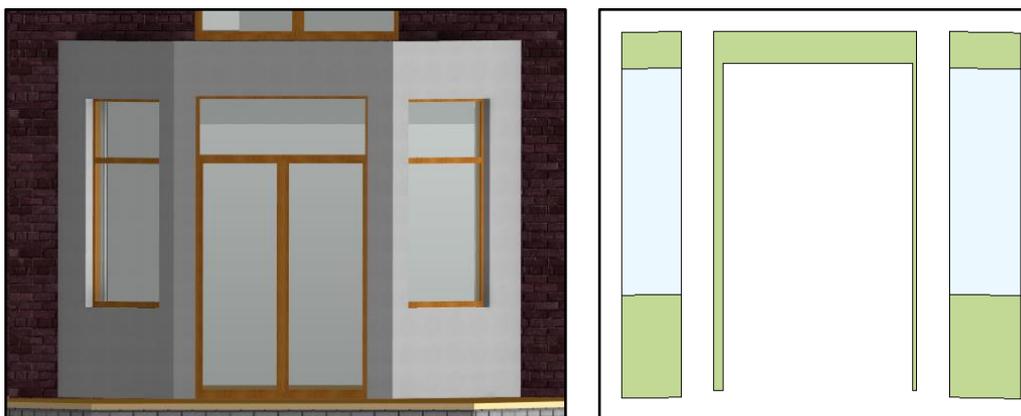


Figure 50 – Fenêtres de la loggia et surfaces analytiques correspondantes dans Revit

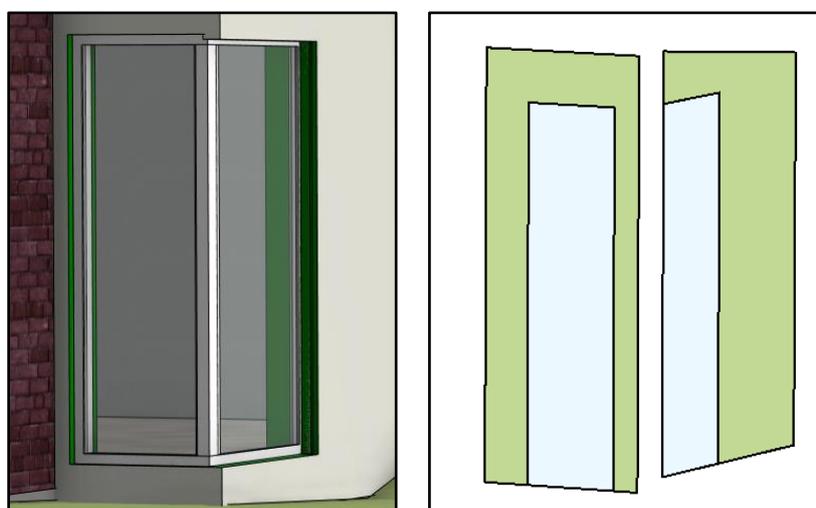


Figure 51 - Fenêtre d'angle et surfaces analytiques correspondantes dans Revit

Les secondes sont les fenêtres de toit du modèle multicouche. Leur surface analytique a été définie par rapport à l’axe de l’épaisseur totale du toit et non par rapport à la couche externe comme c’est le cas pour le modèle monocouche, induisant un pourcentage de variation plus élevé.

Les familles de **portes** ont été paramétrées, comme les fenêtres, indépendamment du type de modélisation. Le tableau 41 démontre ainsi que leurs surfaces sont très proches de celles calculées pour la PEB, et ce pour les modèles constructifs et analytiques.

Tableau 41 - Comparaison des surfaces de portes

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION			
			Constructif	Analytique	Constructif	Analytique
1A	2007 Porte extérieure hall	1,66	0%	0%	0%	0%
2A	1980 Porte extérieure cuisine	1,97	0%	0%	0%	0%
3	2007 Porte extérieure hall d'entrée	3,06	0%	0%	0%	5%
Communs	1900 Porte extérieure buanderie	1,98	0%	0%	0%	0%

Communs	1900 Porte extérieure hall d'entrée	2,86	0%	-6%	0%	-6%
1A-1B	2007 Porte intérieure	1,89	1%	1%	1%	1%
2A-2B	1900 Porte intérieure	1,86	3%	3%	3%	3%
Communs-3	1900 Porte intérieure	1,78	1%	2%	1%	1%
Communs-4	1900 Porte intérieure	1,78	1%	2%	1%	1%
Communs-5A	1900 Porte intérieure	1,89	1%	1%	1%	-2%
Communs-5B	1900 Porte intérieure	3,30	0%	-2%	0%	0%

Comme nous l'avons mentionné dans la méthodologie, les **surfaces des toitures** en pente n'ont pas pu être calculées pour les modèles constructifs car cela impliquait de les scinder pour distinguer plusieurs secteurs énergétiques ce qui représentait une trop grande complexité (Tableau 42).

Les surfaces des toitures terrasses des modèles constructifs coïncident avec celles calculées pour l'encodage PEB puisqu'elles ont été déterminées sur base de plans de surface, de la même manière que les planchers. Les pourcentages de variation élevés des modèles analytiques s'expliquent pas les écarts et les espacements générés par l'algorithme de calcul au niveau des jonctions entre les éléments.

Tableau 42 - Comparaison des surfaces de toitures

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	NOM	SURFACE [m <sup>2</sup> ]	VARIATION			
			Constructif	Analytique	Constructif	Analytique
2A	2007 Toiture terrasse ép. 270	11,69	0%	-6%	0%	-24%
2A	1980 Toiture terrasse ép. 225	14,71	0%	-15%	0%	-23%
3	2007 Toiture en pente ép. 282	69,74	1%	2%	1%	-11%
3	1980 Terrasse loggia ép. 235	2,48	0%	8%	0%	7%
Communs	1900 Toiture en pente ép. 190	7,33	-	-38%	-	-36%
5A	1900 Toiture en pente ép. 190	62,47	-	-17%	-	-16%
5B	1900 Toiture en pente ép. 190	3,15	-	-15%	-	-18%

### Surfaces de planchers chauffés

Le tableau 43 indique que les valeurs de ce paramètre coïncident avec celles de l'encodage PEB puisqu'elles ont été déterminées sur base de plans de surface.

Tableau 43 - Comparaison des surfaces de planchers chauffés

PEB		MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE	
NOM	A <sub>ch</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>ch</sub> [m <sup>2</sup> ]	VARIATION
Appartement 1	61,78	61,72	0%
Appartement 2	54,52	54,53	0%
Appartement 3	106,08	106,02	0%
Appartement 4	51,31	51,18	0%
Appartement 5	37,62	37,59	0%

## Volume protégé

Le tableau 44 indique que tous les volumes calculés par Revit sont inférieurs aux volumes définis pour l'étude PEB. Ceci s'explique par le fait qu'ils ont été calculés à partir des espaces des modèles analytiques. Or, ces espaces sont délimités par les surfaces analytiques qui, comme nous l'avons déjà expliqué, ne sont pas positionnées par rapport à la limite de la couche la plus externe contrairement à ce qui est préconisé pour la PEB. Par conséquent, les volumes calculés sont plus petits puisqu'ils ne prennent pas en compte une partie des parois. Nous remarquons que les pourcentages de variation sont moins importants pour le modèle monocouche car les limites des espaces analytiques sont définies par rapport à l'axe de la couche externe des parois. Les écarts sont toutefois préjudiciables pour trois secteurs énergétiques.

Tableau 44 - Comparaison des volumes protégés

PEB		MODÈLE MONOCOUCHE	MODÈLE MULTICOUCHE
SECTEUR ÉNERGÉTIQUE	VOLUME [m³]	VARIATION	VARIATION
Communs	172,20	-37%	-38%
1A	149,24	-18%	-26%
1B	23,55	-28%	-30%
2A	141,69	-25%	-33%
2B	12,14	-33%	-44%
3	402,94	-18%	-25%
4	150,95	-24%	-25%
5A	111,78	-25%	-31%
5B	7,80	-40%	-43%

## Propriétés thermiques

L'analyse des tableaux 45 à 47 relatifs aux **propriétés thermiques des murs, planchers et toitures** indiquent que les écarts sont prépondérants entre les modèles Revit et les valeurs calculées par le logiciel PEB. Cette différence tient au fait que Revit ne tient pas compte des résistances thermiques superficielles d'échange du côté intérieur et extérieur des parois ( $R_{si}$  et  $R_{se}$ ). Il calcule donc la résistance  $R_t$  de la paroi de surface à surface au lieu de la résistance totale  $R_T$ .

Les tableaux illustrent néanmoins que les résistances thermiques de certaines instances coïncident avec celles du logiciel PEB. Il s'agit des parois en contact avec le sol telles que les dalles ou les murs contre terre. En réalité, les résistances concordent car la méthode PEB considère la résistance de ces parois comme égale à la résistance de surface à surface sans prendre en compte la résistance thermique superficielle. Par contre, les coefficients de transmission thermique  $U$  de ces éléments ne coïncident pas du tout. En effet, pour les parois enterrées, le logiciel PEB calcule le coefficient  $U$  selon une formule spécifique qui n'est pas la formule habituelle  $U = \frac{1}{R_T}$ . Il prend en compte un facteur de réduction de température  $\alpha$  qui intervient pour la vérification des performances par rapport aux exigences PEB. Il calcule donc le  $U$  de la manière suivante :

$$U = U_{eq} * \alpha \text{ Où } U_{eq} = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + R_t} \text{ et } \alpha = \frac{1}{U_{eq} + 1}$$

Revit quant à lui ne tient pas compte de l'environnement des parois pour définir le coefficient  $U$ . Il le calcule automatiquement selon la formule  $U = \frac{1}{R_T}$ , ce qui génère des pourcentages de variation considérables par rapport à la PEB.

Enfin, les tableaux démontrent que les propriétés thermiques sont identiques pour les deux modèles constructifs puisque les matériaux utilisés sont exactement les mêmes. La seule différence entre les deux modélisations concerne la méthode d'obtention du coefficient U. Pour le modèle monocouche, il n'a pas été obtenu directement à partir des quantitatifs extraits mais calculé manuellement. Les cases vides indiquent quant à elles que le U n'a pas pu être calculé avec la formule  $\frac{1}{R_T}$ .

Tableau 45 - Comparaison des propriétés des murs

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
NOM	R [m²K/W]	U [W/m²K]	VARIAT° R	VARIAT° U	VARIAT° R	VARIAT° U
1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	0,35	2,86	-49%	94%	-49%	94%
1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	0,49	2,06	-35%	52%	-35%	52%
1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	0,49	2,03	-35%	54%	-35%	54%
1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	0,32	3,11	-50%	101%	-50%	101%
1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	1,13	0,88	-15%	18%	-15%	18%
1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	1,70	0,59	-10%	11%	-10%	11%
1980 - Mur extérieur (Parement) -28,2 cm	0,56	1,79	-30%	43%	-30%	43%
1900 - Mur loggia -25,2 cm	0,30	3,31	-57%	132%	-57%	132%
2007 - Mur extérieur (Enduit) - 29,2 cm	2,07	0,48	-8%	10%	-8%	10%
2007 - Mur extérieur (Parement) - 35,2 cm	2,12	0,50	-8%	3%	-8%	3%
1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	0,20	0,75	0%	-	0%	578%
2007 - Soutènement - 40,2 cm	0,29	0,70	0%	-	0%	394%
1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	0,50	2,00	-52%	108%	-52%	108%
1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	0,84	1,19	-31%	45%	-31%	45%
1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	0,54	1,87	-48%	91%	-48%	91%
1900 - Porteur intérieur -Plâtre + brique + plâtre - 2+22+2 cm	0,65	1,55	-40%	65%	-40%	65%
1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	0,62	1,62	-42%	71%	-42%	71%
1900 - Cloison en ossature bois - 11,2 cm + 1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	0,49	2,02	-53%	115%	-53%	115%
1900 - Cloison en brique - 16 cm	0,50	2,00	-52%	108%	-52%	108%
1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	0,52	1,91	-50%	101%	-50%	101%
1900 - Mur intérieur isolé en brique - 44,2 cm	1,46	0,70	-33%	46%	-33%	46%
1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	0,62	1,62	-42%	71%	-42%	71%
1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	0,31	3,20	-84%	525%	-84%	525%
1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	1,80	0,56	-14%	16%	-14%	16%
1900 - Porteur intérieur – Plâtre + brique + plâtre - 2+22+2 cm	0,65	1,55	-40%	65%	-40%	65%
1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	0,45	2,21	-58%	138%	-58%	138%
1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	0,49	2,05	-53%	112%	-53%	112%
1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	1,52	0,66	-17%	20%	-17%	20%
2007 - Porteur intérieur – Plâtre + blocs de béton + plâtre - 1,2+19+1,2 cm	0,45	2,21	-58%	138%	-58%	138%

Tableau 46 - Comparaison des propriétés des planchers/plafonds

PEB			MODÈLE MONOCOUCHE		MODÈLE MULTICOUCHE	
NOM	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]	VARIATION R	VARIATION U	VARIATION R	VARIATION U
1900 - Dalle sur sol - 32 cm	0,25	0,70	0%	-	0%	467%
2007- Dalle sur sol - 25 cm	0,72	0,53	-1%	-	-1%	166%
2007- Retour d'enduit - 34 cm	2,14	0,47	-10%	11%	-10%	11%
2007 - Plancher hourdis - 27 cm	0,43	2,31	-47%	88%	-47%	88%
1980 - Plancher loggia - 22,5 cm	0,69	1,46	-35%	52%	-35%	52%
1900 - Plancher solives finition chêne - 22 cm	0,62	1,63	-32%	46%	-32%	46%
1900 - Plancher solives finition moquette - 22 cm	0,70	1,42	-29%	41%	-29%	41%
1900 - Plancher solives isolé - 22 cm	1,62	0,62	-12%	14%	-12%	14%
2007 - Plancher hourdis - 27 cm	0,43	2,31	-47%	88%	-47%	88%

Tableau 47 - Comparaison des propriétés des toitures

PEB			MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE	
NOM	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]	VARIATION R	VARIATION U
1900 - Toiture - 15,5 cm	0,97	1,03	-21%	26%
1900 - Toiture - 15,5 cm	1,27	0,79	-39%	65%
1980 - Terrasse - 22,5 cm	0,37	2,70	-54%	118%
1900 - Terrasse loggia - 23,5 cm	0,34	2,94	-41%	70%
2007 - Terrasse - 27 cm	0,98	1,02	-20%	26%
2007 - Toiture - 28,2 cm	3,10	0,32	-6%	7%

Les **propriétés thermiques des fenêtres et portes** sont déterminées automatiquement par Revit en sélectionnant dans les paramètres un type de construction analytique. Cependant, le choix est relativement restreint et ne correspond pas nécessairement à ce que l'on recherche. Par ailleurs, il semblerait que Revit détermine la résistance thermique et le coefficient de transmission U des fenêtres uniquement sur base de leur type de vitrage alors que la PEB considère l'ensemble châssis + vitrage (Figure 52). Toutes les fenêtres ont été définies sur le même type de construction analytique et possèdent donc des propriétés thermiques identiques (Tableau 48). Pour les portes, aucune construction analytique ne correspondait au type recherché. Par conséquent, nous avons choisi la construction analytique dont les propriétés se rapprochaient le plus des valeurs encodées dans le logiciel PEB (Figure 53).

Tableau 48 - Comparaison des propriétés des fenêtres et portes

PEB		MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE
NOM	U [W/m <sup>2</sup> K]	VARIATION U
Fenêtres châssis bois	2,82	11%
Fenêtres châssis PVC	2,86	9%
Fenêtres de toit	3,08	2%
Portes d'entrée avec vitrage	2,80	6%

Transmission de la lumière visible	0,810000
Coefficient d'apport thermique solaire	0,760000
Coefficient de transfert de chaleur (U)	3,1292 W/(m <sup>2</sup> ·K)
Construction analytique	Double vitrage - domestique
Résistance thermique (R)	0,3196 (m <sup>2</sup> ·K)/W

Figure 52 - Propriétés thermiques d'une fenêtre (Source : Revit)

Construction analytique	Cadre en bois, porte à double vitre
Transmission de la lumière visible	0,000000
Résistance thermique (R)	0,3196 (m <sup>2</sup> ·K)/W
Coefficient d'apport thermique solaire	0,000000
Coefficient de transfert de chaleur (U)	3,1286 W/(m <sup>2</sup> ·K)

Figure 53 - Propriétés thermiques d'une porte (Source : Revit)

## 5.2. Étude du potentiel d'exploitation des modèles pour une simulation énergétique

### 5.2.1. Résultats de l'export GBXML à partir de Revit

La première partie de la démarche de validation consiste à vérifier l'intégrité du transfert de données des modèles analytiques monocouche et multicouche du fichier Revit vers le fichier GBXML. Les résultats de l'analyse sont présentés selon l'ordre des paramètres définis au point 4.4.2 de la méthodologie.

#### Données géométriques et fonctions des parois

Les figures 54 et 55 représentent les modèles monocouche et multicouche obtenus avant et après l'export GBXML.

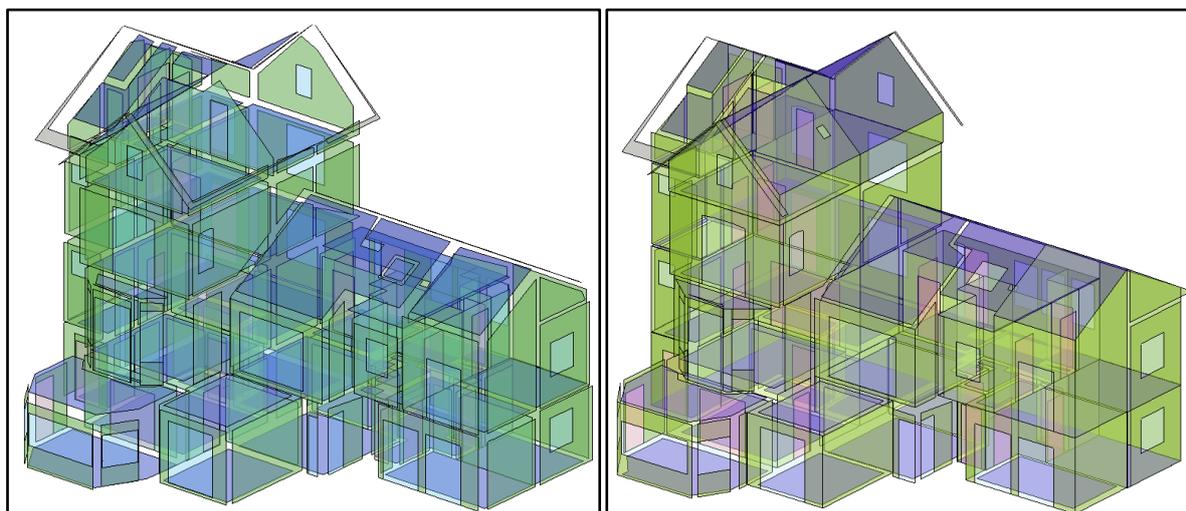


Figure 54 - Modèles analytiques Revit monocouche (gauche) et multicouche (droite) avant export en GBXML

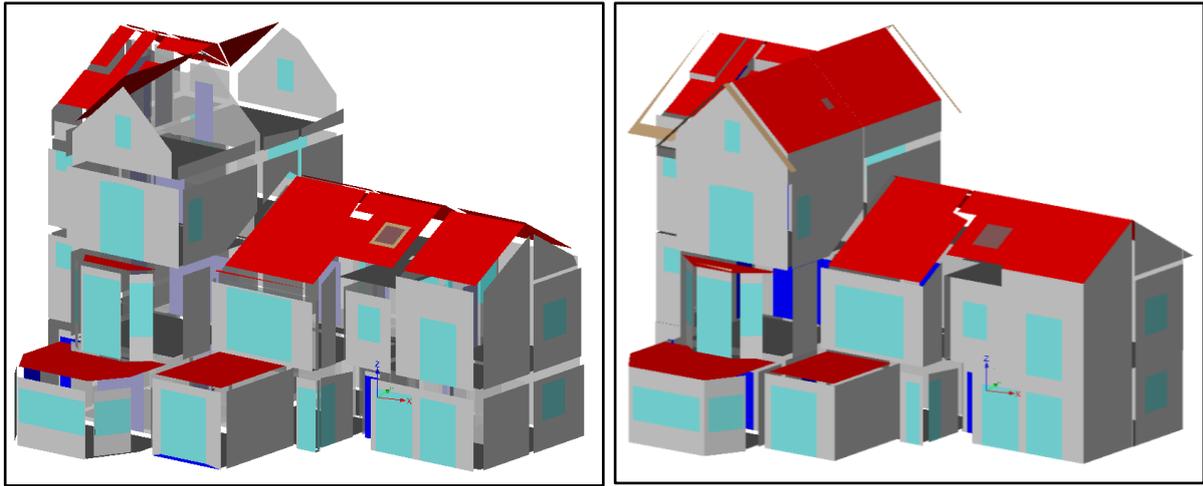


Figure 55 – Modèles monocouche (gauche) et multicouche (droite) visualisés dans le logiciel FZK après export en GBXML

Les figures 54 et 55 illustrent que l'une des surfaces analytiques de toit du modèle monocouche est manquante dans les deux fichiers. Il semblerait que Revit n'est pas parvenu à détecter la limite du plafonnage de la toiture. Nous regardons donc le modèle architectural afin de vérifier s'il s'agit d'une erreur de modélisation. En analysant de plus près le modèle architectural, il se trouve que l'élément « plafonnage » de toit est « attaché » au reste de la structure, ce qui par conséquent empêche Revit de trouver sa limite. Nous rendons donc cette couche indépendante des autres et recréons le modèle énergétique. Cette fois, la surface analytique de la toiture est bien identifiée (Figure 56).

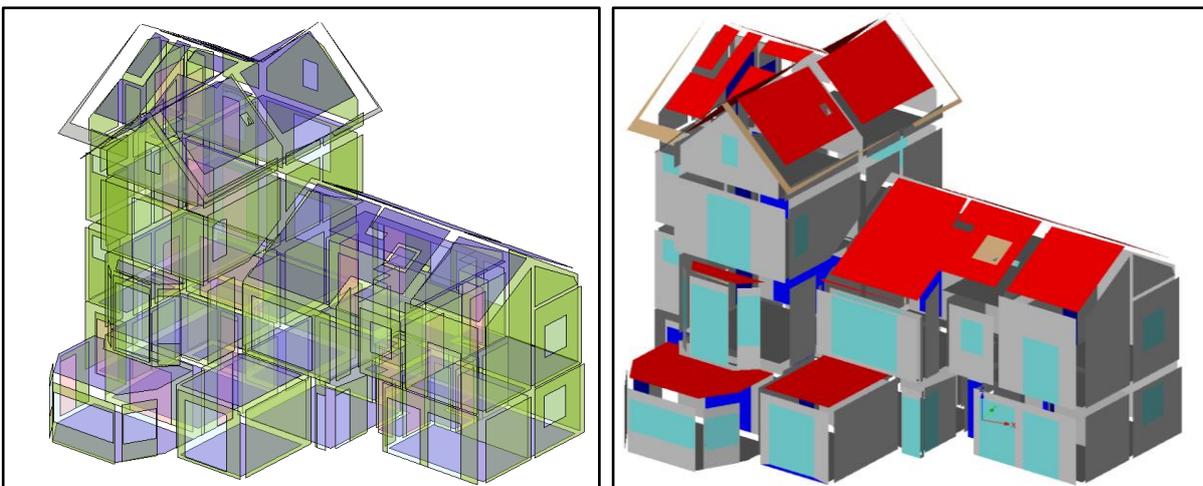


Figure 56 – Modèle analytique monocouche avant (gauche) et après (droite) export en GBXML suite à la modification de l'accrochage du plafonnage de toiture

Nous observons également que les murs analytiques du volume situé au niveau de la mezzanine de la partie 2007 sont manquants dans les modèles monocouche et multicouche et ce pour les fichiers Revit et GBXML (Figure 57). Ce manquement est probablement dû à la résolution de la surface analytique que nous avons définie au point 4.2.8. En effet, la hauteur de l'élément de mur à partir du plancher de la mezzanine est inférieure à la valeur de résolution de la surface analytique. Par conséquent, l'algorithme de calcul ignore cette surface. La résolution ayant été définie au minimum dès le départ, il n'y a pas de réelle solution à ce problème.

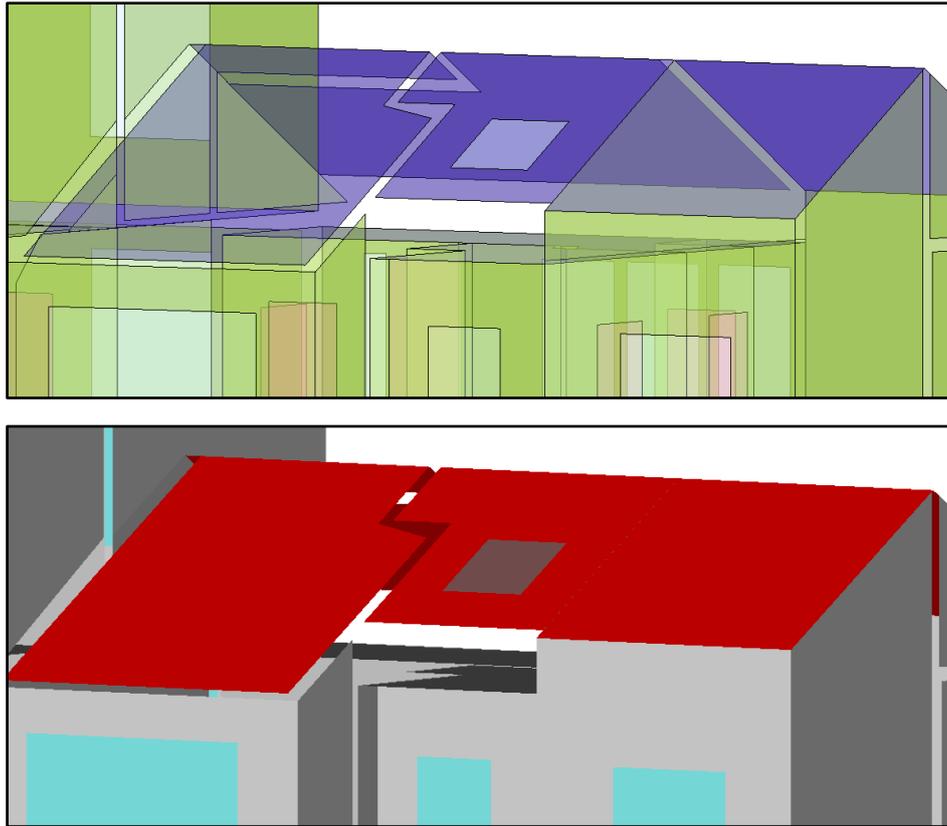


Figure 57 – Surfaces analytiques manquantes au niveau de la mezzanine de la partie 2007 avant et après export en GBXML

De manière générale, nous remarquons que les espacements entre les éléments du modèle monocouche sont beaucoup plus importants que le modèle multicouche. Ceci peut s'expliquer par le fait que les surfaces analytiques de ce modèle sont définies par rapport à l'axe de la couche interne (Figure 58). Les surfaces du modèle multicouche forment quant à elles des volumes raisonnablement fermés car elles se positionnent automatiquement selon l'axe de l'épaisseur totale des parois.

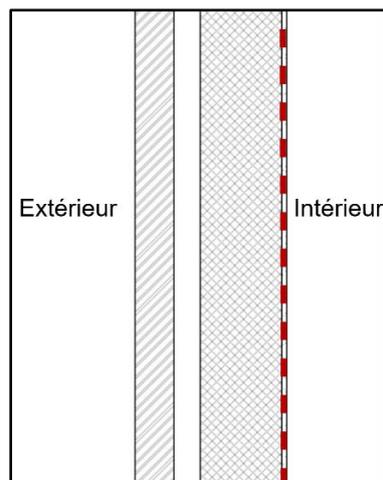


Figure 58 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche

Pour évaluer si les valeurs des surfaces des deux modèles présentent des incohérences entre les fichiers Revit et GBXML, nous les rassemblons dans le tableau comparatif 49. Celui-ci se divise en cinq

colonnes indiquant le type d'élément, les surfaces calculées par Revit et les surfaces obtenues après l'export GBXML pour les modèles monocouche et multicouche.

Tableau 49 - Comparaison des surfaces analytiques des modèles monocouche et multicouche

TYPE Elément	SURFACE REVIT [m <sup>2</sup> ]		SURFACE GBXML [m <sup>2</sup> ]	
	Monocouche	Multicouche	Monocouche	Multicouche
Murs extérieurs	280	336	347	404
Murs intérieurs	208	268	258	318
Plafonds	0,3	1	7	10
Toitures	100	121	124	143
Fenêtres	57	61	57	61
Portes	58	60	58	60
Planchers surélevés	21	22	1	2
Planchers intérieurs	173	192	173	192
Dallage	103	113	103	113

Les cases vertes indiquent que les surfaces sont cohérentes entre les fichiers. Les cases en orange mettent en évidence une différence entre les surfaces obtenues dans les fichiers Revit et les fichiers GBXML. Cette variation est due au fait que la fonction attribuée à certains éléments de construction a été modifiée lors de l'export GBXML. Ainsi, les surfaces analytiques de toit n'incluent, dans Revit, que les deux toitures en pente tandis que les terrasses du rez-de-chaussée et du R+1 sont considérées comme des « sols surélevés ». A contrario, le fichier GBXML considère l'ensemble de ces surfaces comme des éléments de toiture (Figure 59).

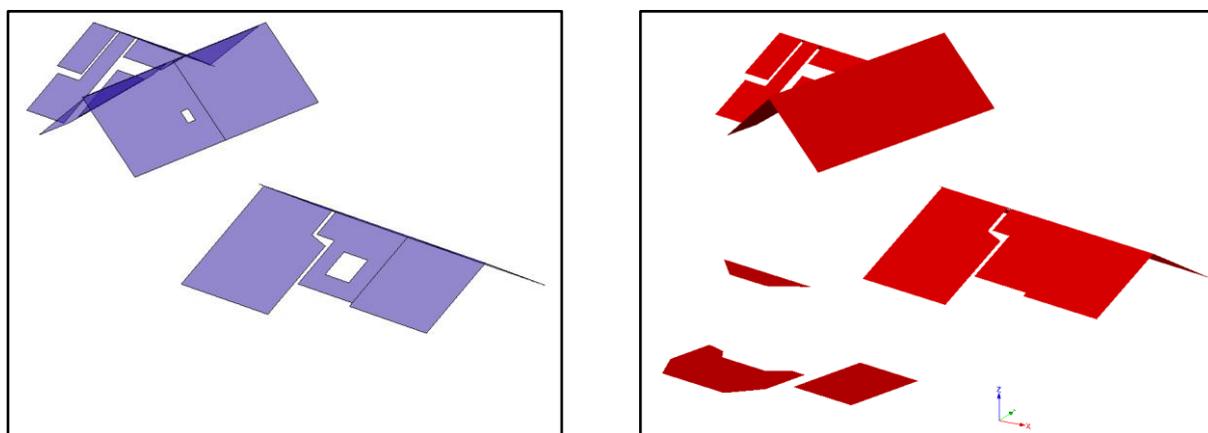


Figure 59 - Surfaces analytiques des toitures dans le fichier Revit et dans le fichier GBXML exporté de Revit

L'incohérence la plus importante relevée dans le fichier GBXML est la surface excédentaire des murs et des plafonds (Tableau 49).

En étudiant de plus près les fichiers GBXML des deux modèles, il se trouve que des surfaces additionnelles se sont superposées aux ouvertures (portes et fenêtres) et se sont vues attribuées le même type que la paroi d'accueil (Figure 60). Ne trouvant aucune explication plausible à ce problème, plusieurs recherches ont été effectuées sur les forums et les sites d'Autodesk. Ceux-ci ont démontré que cet ajout est automatique et n'est pas dû à une erreur de modélisation. Par ailleurs, ces éléments n'ont apparemment que très peu d'effet sur la simulation énergétique parce que l'analyse sera

principalement effectuée sur base des propriétés des portes et fenêtres qui les recouvrent (Autodesk Knowledge Network, 2016).

Les éléments de plafonds se sont quant à eux superposés aux surfaces d'air qui correspondent aux cages d'escalier dans les modèles Revit.

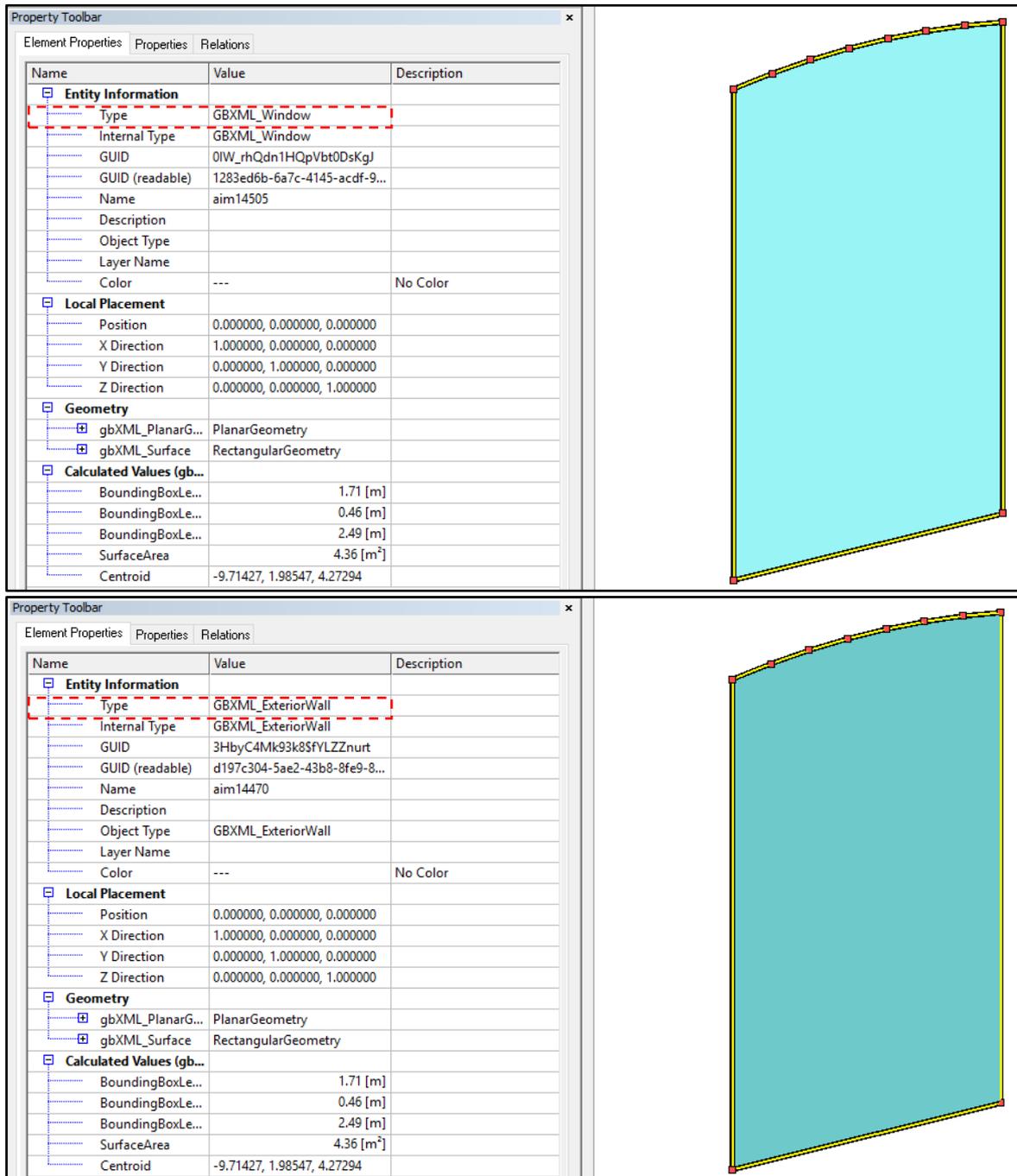


Figure 60 – Visualisation d'un élément additionnel superposé à un élément de fenêtre dans le logiciel FZK

Le tableau 49 illustre par ailleurs que les murs contre terre du rez-de-jardin ont été définis comme des éléments en contact avec l'extérieur, et ce pour les fichiers Revit et GBXML. Le visionnage des modèles indique que la fonction « Soutènement » attribuée à ces éléments dans Revit n'a pas été prise en compte. En réalité, lors de la création des modèles énergétiques, l'algorithme calcule les surfaces

enterrées sur base du « plan du sol » défini dans les paramètres énergétiques. Pour rappel, les éléments sous ce plan sont considérés comme enterrés. Le problème de ce plan de référence est qu'il ne peut être positionné qu'horizontalement. Or, le terrain sur lequel s'implante le bâtiment étudié est en pente. Le plan du sol avait été au départ défini au niveau du rez-de-jardin, par conséquent, tous les éléments composant l'enveloppe sont définis comme des parois en contact avec l'extérieur, ce qui n'est en réalité pas correct (Figure 61 à gauche). Cependant, si le plan du sol était défini sur « rez-de-chaussée », c'est l'ensemble des éléments du rez-de-jardin qui seraient considérés comme enterrés, ce qui n'est pas le cas non plus (Figure 61 à droite).

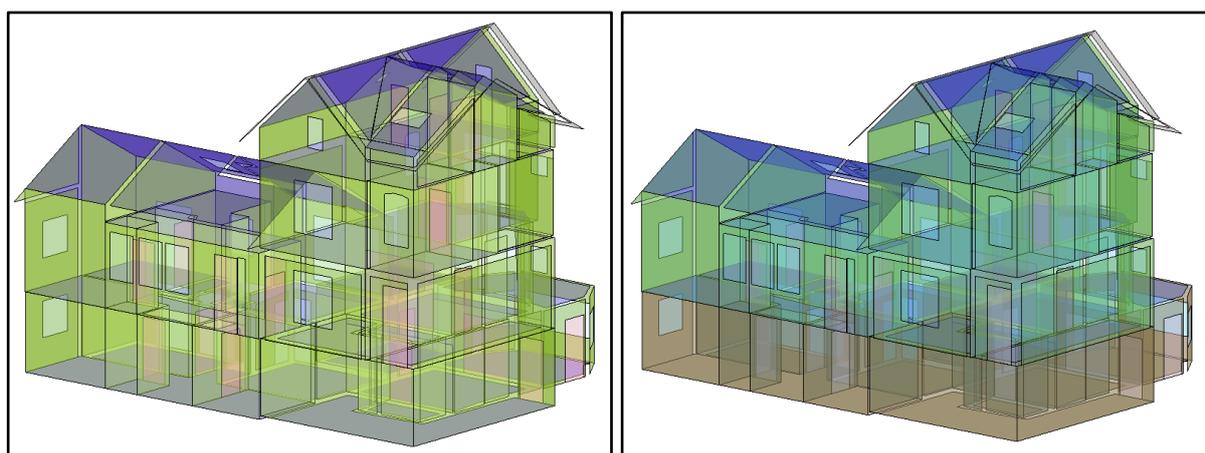


Figure 61 - Plan du sol défini au niveau du rez-de-jardin (gauche) et au rez-de-chaussée (droite) dans Revit

### Propriétés des matériaux

Le tableau 50 fait l'inventaire des propriétés thermiques et analytiques des matériaux qui sont définies et calculées dans Revit et celles qui sont récupérées lors de l'export GBXML. Un rond signifie que la propriété a été récupérée lors de l'export, un tiret signifie que non.

Tableau 50 - Propriétés récupérées lors de l'export GBXML

PROPRIÉTÉS	MODÈLES REVIT	FICHER GBXML MONOCOUCHE	FICHER GBXML MULTICOUCHE
Propriétés thermiques	Epaisseur	O	O
	Comportement	-	-
	Conductivité thermique	O	O
	Chaleur spécifique	O	O
	Densité	O	O
	Emissivité	-	-
	Perméabilité	-	-
	Porosité	-	-
	Réfectivité	-	-
	Résistivité électrique	-	-
Propriétés analytiques	Coefficient d'absorption	O	O
	Rugosité	O	O
	Coefficient de transmission thermique U	O	O
	Résistance thermique R	O	O
	Masse thermique	-	-

Le tableau illustre que l'ensemble des propriétés exportées est cohérent entre les deux modèles. Par ailleurs, l'analyse du fichier GBXML du modèle monocouche montre que les couches séparées constituant le modèle monocouche ont été assemblées de manière logique. L'unique différence observable concerne le coefficient de transmission thermique des parois de ce modèle. Ce paramètre est bien inclus dans le fichier GBXML mais une case vide indique qu'aucune valeur n'a été calculée pour ce coefficient (Figure 62). En effet, comme nous l'avons mentionné dans la première mise en application, ce paramètre ne peut pas être distingué selon chacune des couches mais doit être calculé suivant la formule  $\frac{1}{R_T}$ . Nous supposons donc que ce paramètre sera automatiquement calculé par Green Building Studio.

Construction	
Name	Mur de base: 1900/2007 - Finition intérieure - Bois peint - 1,5+0,5 c...
Description	
U-Value	
1. Layer	

Figure 62 – Aperçu du coefficient U d'une des parois du modèle monocouche dans le logiciel FZK

Les valeurs U calculées pour chaque couche de matériau sont cohérentes entre les fichiers. Cependant, comme mentionné dans la première mise en application, les coefficients U calculés avant et après export GBXML ne tiennent pas compte des résistances thermiques superficielles d'échange puisque cette propriété n'est au départ pas disponible dans Revit.

Nous observons enfin quels types de propriétés ont été assignées aux surfaces additionnelles créées au niveau des ouvertures de portes et de fenêtres. L'observation des fichiers GBXML indique qu'aucun matériau ou propriété thermique n'a été attribué à ces surfaces. Celles-ci sont uniquement définies selon leurs propriétés dimensionnelles.

### Emplacement et données météorologiques

Le tableau 51 indique que les données d'emplacement ont bien été récupérées lors de l'export GBXML. Les tirets illustrent que le fichier GBXML exporté de Revit ne contient pas de données météorologiques. Celles-ci sont normalement définies automatiquement par Green Building Studio après avoir défini l'emplacement du projet.

Tableau 51 – Comparaison des données météorologiques et géographiques

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML
Latitude	50,57N	50,57N
Longitude	5,58E	5,58E
Élévation [m]	200	200
Nom de l'emplacement	Esneux, Belgique	Esneux, Belgique
Température de calcul du chauffage [°C]	-5	-
Température de calcul du refroidissement (bulbe sec) [°C]	32	-
Température de calcul du refroidissement (bulbe humide) [°C]	21	-

## Apports internes

L'analyse du code GBXML indique que les données relatives aux apports internes sont cohérentes avec celles encodées dans Revit (Tableau 52).

Tableau 52 – Comparaison des apports internes entre les fichiers Revit et GBXML

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML
Occupation [m <sup>2</sup> /personne]	45 (7 personnes)	45 (7 personnes)
Gain de chaleur latente par personne [W]	58,61	58,61
Gain de chaleur sensible par personne [W]	73,27	73,27
Gain de chaleur total personne [W]	131,88	131,88
Puissance surfacique de l'éclairage [W/m <sup>2</sup> ]	7,53	7,53
Puissance surfacique des équipements intérieurs/appareils [W/m <sup>2</sup> ]	10,76	10,76

## Scénarios d'occupation et d'exploitation

L'analyse du code GBXML indique que les plages horaires d'exploitation et d'occupation définis dans Revit ont été exportés correctement (Tableau 53). Ceux-ci sont représentés sur les figures 63 et 64. L'axe des X correspond à une période de 24 heures en débutant à minuit. L'axe des Y est composé de multiplicateurs fractionnaires qu'il faut multiplier par le nombre total d'occupants pour pouvoir obtenir le nombre de personnes dans le bâtiment à un moment donné.

Tableau 53 - Comparaison des plages horaires utilisées entre les fichiers Revit et GBXML

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML
Plage horaire d'occupation	Occupation de maisons - 24 heures	Occupation de maisons - 24 heures
Plage horaire d'éclairage	Eclairage de résidences - Toute la journée	Eclairage de résidences - Toute la journée
Plage horaire d'exploitation des équipements	Eclairage de résidences - Toute la journée	Eclairage de résidences - Toute la journée

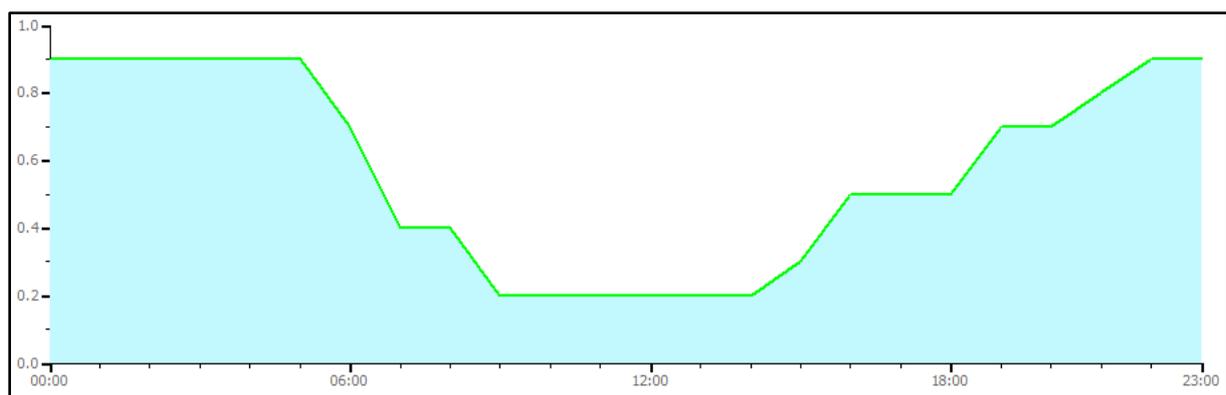


Figure 63 - Plage horaire d'occupation de maisons sur 24h dans Revit

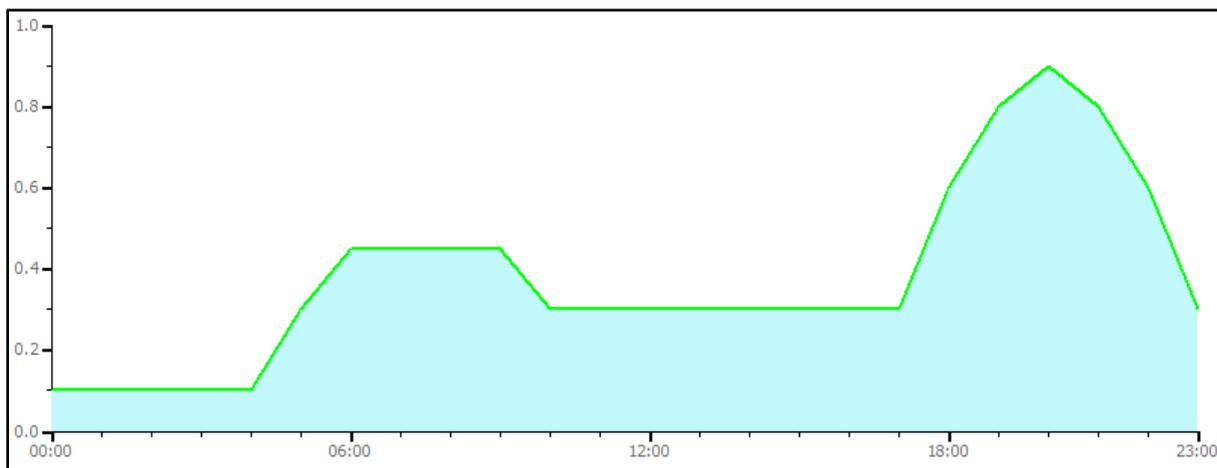


Figure 64 - Plage horaire d'éclairage dans Revit

### 5.2.2. Résultats de l'export GBXML à partir de Green Building Studio

La seconde partie de la démarche de validation était destinée à comparer le fichier GBXML généré par Green Building Studio aux données encodées et exportées de Revit afin de relever si des incohérences supplémentaires sont apparues après la simulation.

Les différences notables qui sont observées dans le fichier GBXML créé par le moteur d'analyse de Green Building Studio concernent les données météorologiques, les propriétés des matériaux, les apports internes et les scénarios d'exploitation.

L'analyse des **données météorologiques** indique que les températures de calcul de chauffage et de refroidissement du fichier issu de la simulation sont légèrement différentes de celles calculées par Revit (Tableau 54). L'une des explications justifiant cette différence est la station météo utilisée pour calculer les températures. En effet, les deux logiciels utilisent les données météorologiques de deux stations virtuelles différentes qui sont définies comme étant les plus proches de l'emplacement du projet.

Tableau 54 - Incohérences relevées au niveau des données météo

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE GBS
Numéro de la station météo	150280	-	120139
Température de calcul du chauffage [°C]	-5	-	-4,7
Température de calcul du refroidissement (bulbe sec) [°C]	32	-	28
Température de calcul du refroidissement (bulbe humide) [°C]	21	-	20,5

Le fichier GBXML généré par Green Building Studio indique que l'ensemble des **propriétés des matériaux** définis dans Revit a été conservé. Le moteur d'analyse a par ailleurs calculé correctement le coefficient U des parois du modèle monocouche même si les résistances superficielles de l'air n'ont toujours pas été prises en compte. Cependant, l'analyse du code GBXML des modèles monocouche et multicouche indique que tous les types de portes ont été substitués par un « R5 Door » d'une valeur  $U=6,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  alors que la vérification du fichier GBXML exporté de Revit a démontré que les propriétés des portes avaient bien été exportées. Cette constatation signifie donc que c'est le moteur de calcul de Green Building Studio qui a automatiquement assigné ces nouvelles propriétés aux portes.

Par ailleurs, Green Building Studio a attribué des propriétés thermiques par défaut aux surfaces additionnelles qui ont été créées au niveau des ouvertures et des cages d'escalier lors de l'export GBXML

à partir de Revit (Tableau 55). Il a par ailleurs ajouté quatre types de propriétés thermiques à ces surfaces : la résistance thermique superficielle intérieure qui est reprise dans le tableau 55 ainsi que la réflectance, l'émissance et la transmittance.

Tableau 55 - Propriétés assignées aux parois ajoutées par Green Building Studio

ÉLÉMENT AJOUTÉ	NOM CORRESPONDANT DANS LES FICHIERS GBXML ISSUS DE GBS	U ASSIGNÉ PAR GBS [W/m <sup>2</sup> K]	R <sub>SI</sub> [W/m <sup>2</sup> K]
Toitures en pente	R38 Wood Frame Roof	0,13	0,16
Plafonds	Interior Drop Ceiling Tile	2,60	0,16
Murs extérieurs	R13+7,5 Metal Frame Wall	0,4	0,12
Mur intérieurs	Uninsulated Interior Wall	2,35	0,12
Portes	R5 door	6,4	0,11

L'analyse des **apports internes** montre qu'un apport surfacique généré par les équipements intérieurs a automatiquement été ajouté lors de la simulation dans Green Building Studio (Tableau 56).

Tableau 56 - Apport supplémentaire pour les équipements intérieurs

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE GBS
Occupation [m <sup>2</sup> /personne]	45 (7 personnes)	45 (7 personnes)	45 (7 personnes)
Gain de chaleur latente par personne [W]	58,61	58,61	58,61
Gain de chaleur sensible par personne [W]	73,27	73,27	73,27
Gain de chaleur total personne [W]	131,88	131,88	131,88
Puissance surfacique de l'éclairage [W/m <sup>2</sup> ]	7,53	7,53	7,53
Puissance surfacique des équipements intérieurs/appareils [W/m <sup>2</sup> ]	10,76	10,76	10,76
Puissance surfacique supplémentaire : « Plug load » [W/m <sup>2</sup> ]	-	-	5,38

Enfin, l'étude des **scénarios d'occupation et d'exploitation** indique que Green Building Studio a pris en compte quatre scénarios supplémentaires pour la simulation : un scénario de refroidissement, de chauffage, d'utilisation d'eau chaude sanitaire et de ventilation (Tableau 57). Pour le scénario du refroidissement, la température de consigne est définie à 60°C car aucune pièce du bâtiment n'est climatisée. En outre, le scénario relatif à la ventilation considère que celle-ci fonctionne en permanence. Cependant, ce scénario n'est pas exploité car le bâtiment est uniquement chauffé, le débit d'air dans chacune des pièces est donc toujours égal à 0. Par ailleurs, nous remarquons que la plage horaire d'exploitation des équipements a été remplacée par deux scénarios : un pour les équipements qui avaient été préalablement défini dans Revit, l'autre pour l'équipement supplémentaire pris en compte par Green Building Studio. Les différences entre ces plages horaires sont illustrées dans l'annexe 31.

Tableau 57 - Scénarios supplémentaires d'exploitation

PARAMÈTRE	MODÈLES REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE REVIT	FICHIERS GBXML ISSUS DE GBS
Plage horaire d'occupation	Occupation de maisons - 24 heures	Occupation de maisons - 24 heures	Occupation de maisons - 24 heures
Plage horaire d'éclairage	Eclairage de résidences - Toute la journée	Eclairage de résidences - Toute la journée	Eclairage de résidences - Toute la journée
Plage horaire d'exploitation des équipements	Eclairage de résidences - Toute la journée	Eclairage de résidences - Toute la journée	"EquipSched-6" pour les équipements intérieurs de puissance surfacique de 10,76 W/m <sup>2</sup> . "EquipSched-96" pour l'équipement intérieur supplémentaire de puissance surfacique de 5,38 W/m <sup>2</sup> .
Refroidissement	-	-	"Coolsched - Heated - 9" 60°C
Chauffage	-	-	"Heatsched - Heated - 9" 21,1°C
Eau chaude sanitaire (Domestic Hot Water)	-	-	"DHWSchedule-80"
Ventilation	-	-	"FanSch-95" ON toute la journée

---

# DISCUSSION DES RÉSULTATS

---

## 6. DISCUSSION

---

Les discussions développées dans cette section sont structurées selon l'ordre des questions de recherche énoncées au chapitre 3. Ces interrogations, élaborées sur base d'une revue approfondie de la littérature, portent sur le potentiel d'exploitation d'une maquette numérique d'un bâtiment existant pour des études énergétiques. La première question s'intéresse aux potentialités d'usage des informations du modèle pour un encodage dans le logiciel de certification PEB. La seconde se concentre sur le potentiel d'exploitation du modèle pour une analyse énergétique dans le simulateur Green Building Studio.

La discussion établie autour de la première question soulevée est basée essentiellement sur les résultats de la première mise en application relative à l'étude comparative des métrés issus de Revit et de l'encodage PEB. La discussion élaborée autour de la seconde question repose sur les résultats de la seconde mise en application portant sur l'évaluation de l'intégrité du transfert des données entre les modèles Revit et les fichiers GBXML.

Les éléments de réponse apportés à ces questions permettront dans un second temps d'aborder les limites et les perspectives de la méthodologie et des démarches de validation développées dans ce travail.

### 6.1. Potentiel d'exploitation des informations du modèle pour étude thermique réglementaire

L'évaluation du potentiel d'exploitation des informations contenues dans les modèles Revit pour une étude thermique réglementaire est décomposée en deux étapes. La discussion porte tout d'abord sur la complexité des modèles Revit et des méthodes utilisées pour en extraire des données ainsi que sur le temps de traitement de ces dernières pour obtenir des valeurs qui puissent être retranscrites dans le logiciel PEB. La seconde étape vise à discuter la précision des valeurs obtenues par rapport aux valeurs encodées dans le logiciel PEB.

La première mise en application démontre que la majorité des quantitatifs extraits des modèles Revit ne peuvent être utilisés tels quels mais doivent être triés pour pouvoir comparer leurs valeurs à celles de l'encodage PEB. La détermination des surfaces de déperdition en particulier, nécessite l'utilisation de méthodes de traitement chronophages et implique de jongler constamment entre les maquettes numériques et les tableaux extraits pour ne sélectionner que les éléments utiles au calcul PEB. Dans les quantitatifs de murs par exemple, il est nécessaire de ne conserver que ceux qui séparent des secteurs énergétiques distincts ce qui implique de devoir supprimer une bonne partie des éléments contenus dans la nomenclature extraite. Le traitement des données du modèle monocouche en particulier demande le plus d'investissement en raison du grand nombre d'instances d'objets généré. Par ailleurs, certaines surfaces n'ont pas pu être déterminées sur base du modèle constructif telles que les surfaces de toitures.

Tout ceci révèle que la phase de modélisation est déterminante et conditionne le déroulement de l'étude. Il est essentiel de se pencher à l'avance sur la manière dont vont se structurer les modèles et sur l'information qui doit y être intégrée car ces deux facteurs impactent directement la complexité et le temps de traitement des données.

A l'opposé des modèles constructifs, les surfaces des modèles analytiques sont obtenues plus facilement mais ceux-ci nécessitent une préparation spécifique pour que l'algorithme de calcul ne prenne en compte que les parois nécessaires pour une étude PEB.

Les résultats de l'étude comparative indiquent que les surfaces des parois des modèles Revit obtenues sur base d'un relevé de matériaux sont difficilement exploitables pour l'encodage PEB puisqu'elles sont calculées sur base d'un modèle physique détaillé. La PEB se base quant à elle sur un modèle énergétique qui est une représentation tridimensionnelle simplifiée de la description technique complète d'un modèle physique. A contrario, les quantitatifs dont les surfaces sont les plus proches de celles calculées pour l'étude PEB ont été obtenus à partir de méthodes manuelles indépendantes de la manière dont le bâtiment est modélisé (monocouche ou multicouche). Il s'agit des quantitatifs de plans de surfaces et des nomenclatures de portes et fenêtres.

Bien que les modèles analytiques d'énergie présentent un certain potentiel et fournissent une géométrie beaucoup plus simple, leurs surfaces ne sont pas assez précises pour pouvoir être encodées dans le logiciel PEB. En effet, celles-ci reposent sur une interprétation approximative des éléments de construction par l'algorithme de calcul et ne sont pas définies de la même manière que le préconise la méthode PEB.

En outre, l'interprétation des résultats a démontré que Revit calcule les propriétés thermiques des parois de manière simplifiée. Il ne prend pas en compte les résistances thermiques superficielles d'échange pour déterminer le coefficient U et ne distingue pas les parois selon leur environnement. Ces simplifications ont par conséquent un impact important sur les valeurs obtenues.

Cette discussion apporte finalement une réponse mitigée à la question de recherche relative au potentiel d'exploitation des modèles pour une étude thermique réglementaire. Sur l'ensemble des métrés obtenus à partir des modèles physiques Revit, seuls deux types de quantitatifs ont fourni des valeurs acceptables par rapport aux limites de variation fixées pour l'étude : les quantitatifs de plans de surfaces et les nomenclatures de portes et fenêtres. Les modèles analytiques présentent quant à eux une géométrie trop approximative pour être utilisés pour réaliser un calcul réglementaire précis.

Elle met également en lumière les contraintes auxquelles doivent faire face les bureaux d'étude énergétique lorsqu'ils collaborent avec des bureaux d'architecture qui utilisent des maquettes numériques. En effet, leur travail repose sur l'utilisation de moteurs de calcul réglementaires fondés sur des méthodes historiques qui nécessitent une saisie manuelle de données. D'une part, ceux-ci ne permettent pas d'importer directement les informations d'une maquette numérique ce qui empêche les bureaux d'études de travailler sur base de flux intégrés. D'autre part, ces moteurs de calcul sont basés sur des hypothèses simplificatrices dont l'objectif est de faciliter l'encodage manuel, ce qui résulte en des modèles qui sont généralement éloignés de la réalité physique du bâtiment.

## 6.2. Potentiel d'exploitation des informations du modèle pour une simulation énergétique

L'étude du potentiel d'exploitation des modèles Revit pour une analyse énergétique dans Green Building Studio met en évidence deux résultats majeurs. D'une part, la phase de modélisation est déterminante pour pouvoir importer correctement un modèle BIM dans un logiciel de simulation énergétique. D'autre part, la simulation dans Green Building Studio laisse apparaître plusieurs incohérences.

Le premier résultat est principalement visible pour le modèle monocouche. En effet, celui-ci présente une géométrie relativement complexe vu le plus grand nombre d'instances de parois et des erreurs de modélisation sont introduites plus facilement que dans un modèle multicouche. Ainsi, la géométrie analytique de ce modèle a fait l'objet de nombreuses vérifications et modifications car les premières tentatives de simulations échouaient constamment.

Il est donc essentiel de vérifier, à l'aide d'un viewer par exemple, que les éléments sont correctement exportés et que la géométrie est raisonnablement fermée avant d'effectuer la simulation. Si des éléments sont manquants, le simulateur va automatiquement générer un message d'erreur. Il est également important de définir correctement l'ensemble des espaces et leurs propriétés puisque celles-ci sont récupérées pour l'analyse et vont déterminer en grande partie les consommations énergétiques du bâtiment.

Si la phase de modélisation est correctement effectuée, cela n'empêche pas la géométrie analytique générée à partir du modèle constructif de présenter certaines limites. En effet, les surfaces analytiques des parois sont approximatives et peu précises et présentent des jonctions non étanches, ce qui peut avoir un impact sur les consommations énergétiques. Par ailleurs, l'algorithme de calcul qui génère le modèle analytique fait des hypothèses simplificatrices sur les surfaces enterrées qui ne peuvent être définies que par l'intermédiaire d'un plan horizontal.

Le second résultat provient de la visualisation des fichiers GBXML issus de la simulation dans le viewer FZK et de la comparaison de leurs lignes de codes avec les données contenues dans les modèles Revit.

Ainsi, nous observons que la géométrie exportée présente des surfaces additionnelles au niveau des ouvertures de fenêtres et de portes auxquelles Green Building Studio a assigné des propriétés thermiques qui sont éloignées des propriétés définies pour les parois d'accueil. Les résultats indiquent également que le logiciel a remplacé l'ensemble des éléments de portes définis dans Revit par un type de porte par défaut.

Par ailleurs, Green Building Studio n'a toujours pas pris en compte les résistances thermiques superficielles de l'air des parois mais a attribué cette propriété aux surfaces additionnelles uniquement. Les coefficients de transmission thermique U sont donc éloignés de leur valeur réelle.

Les données météorologiques définies par le simulateur sont quant à elles basées sur une station virtuelle distincte de celle de Revit, ce qui génère des valeurs de température de calcul de chauffage et de refroidissement légèrement différentes.

Enfin, Green Building Studio attribue des scénarios d'exploitation spécifiques relatifs aux équipements, au chauffage, à la ventilation, à l'eau chaude sanitaire et au refroidissement. Leurs valeurs sont définies par défaut et ne correspondent pas nécessairement à la situation réelle.

Les facteurs qui viennent d'être relevés sont déterminants pour la précision des résultats de la simulation énergétiques. Or, les résultats indiquent que des incohérences sont apparues lors du transfert des données et que celles-ci n'ont pas toutes été conservées et bien interprétées lors de la simulation. Ces observations combinées à l'impossibilité de contrôler certains paramètres tels que les scénarios d'exploitation auront donc un impact sur les consommations d'énergie.

Par conséquent, si Green Building Studio semble être un outil intéressant pour effectuer des tests et analyser plusieurs alternatives en début de conception, il semble cependant peu adapté pour obtenir un diagnostic précis de la performance énergétique d'un bâtiment existant.

## 6.3. Limites et perspectives

Cette section discute les limites des méthodes et des démarches de validation mises en place dans ce travail. Elle aborde également les perspectives d'évolution et de recherche ultérieures liées aux questions de recherche qui ont été développées.

### 6.3.1. Limites

Le travail qui a été réalisé s'appuie sur une analyse approfondie de la maquette numérique et de ses possibilités et limites pour réaliser des études énergétiques. Le cas d'étude a été modélisé de manière relativement simplifiée par une seule personne pour répondre à des besoins spécifiques et n'intègre donc pas toutes les informations nécessaires à toutes les disciplines d'un projet. Vu le temps consacré à cette étude, l'aspect collaboratif du BIM n'a pas été investigué. Néanmoins, celui-ci reste l'une de ses caractéristiques intrinsèques. L'exploration du BIM à proprement parlé est donc toute relative dans ce travail.

Un constat similaire peut être dressé pour la première démarche de validation. En effet, le potentiel d'exploitation de la maquette numérique n'est pas évalué sur base de son import direct mais sur la possibilité d'utiliser les données qu'elle contient pour les encoder manuellement dans le logiciel PEB, qui ne permet pas actuellement d'importer une maquette numérique. Or, l'objectif du BIM est d'éviter la ressaisie d'informations entre les différents logiciels utilisés.

Enfin, la méthode de fixation des seuils de variation développée dans la première démarche de validation repose sur des résultats relativement sommaires et nécessiterait des études plus poussées. En outre, la fixation de ces seuils reste subjective car elle est spécifique au type de projet étudié et aux valeurs de départ des indicateurs.

### 6.3.2. Perspectives

Sur base des limites énoncées précédemment, plusieurs pistes d'évolution et de recherche ultérieures peuvent être mises en évidence.

La première consiste à étendre l'étude qui vient d'être menée au travail collaboratif. Ainsi, il serait intéressant d'analyser les processus de création et d'échange de modèles entre plusieurs disciplines d'un projet de rénovation énergétique en vue de déterminer les meilleures pratiques collaboratives.

Une deuxième piste de réflexion concerne le développement informatique des outils réglementaires. En effet, ceux-ci sont actuellement conçus pour être utilisés en fin de conception en gage de certification finale et reposent sur des saisies manuelles de données. Or, tout projet neuf ou de rénovation doit être conforme à la réglementation et doit donc pouvoir être analysé le plus en amont du projet pour évaluer toutes les solutions intégrées possibles et éviter les modifications de dernière minute. Il serait donc intéressant de développer l'interopérabilité entre la maquette numérique BIM et les logiciels de certification tels que la PEB à partir de formats d'échange tel que l'IFC ou le GBXML.

Le travail s'est focalisé sur l'utilisation du logiciel Revit comme outil de modélisation et sur Green Building Studio comme logiciel d'analyse énergétique. Un travail de recherche ultérieur pourrait porter sur la modélisation d'un projet dans un autre logiciel tel que Archicad et sur son étude énergétique dans d'autres simulateurs que Green Building Studio.

Une quatrième perspective consiste à étudier de manière approfondie les résultats fournis par le simulateur Green Building Studio en vue d'évaluer si ceux-ci se rapprochent de la réalité. Ainsi, il pourrait être intéressant d'analyser l'impact des hypothèses et interprétations émises par le logiciel en comparant les résultats obtenus à des consommations réelles.

---

# CONCLUSION

---

## 7. CONCLUSION

---

Le travail qui vient d'être présenté cherche à évaluer le potentiel d'exploitation des informations contenues dans les maquettes numériques « monocouche » et « multicouche » d'un bâtiment existant pour analyser la performance thermique de son enveloppe. La possibilité d'utiliser les données-bâtiment pour procéder à un calcul thermique réglementaire dans le logiciel PEB a tout d'abord été évaluée en comparant les quantitatifs issus des modèles Revit aux paramètres calculés spécifiquement pour l'encodage PEB. Dans un second temps, le potentiel d'exploitation des modèles pour une simulation énergétique dans le logiciel Green Building Studio a été estimé grâce à la comparaison des données transférées entre les modèles Revit et les fichiers GBXML générés avant et après simulation.

L'évaluation du potentiel d'exploitation des données des modèles monocouche et multicouche pour une **étude thermique réglementaire** a démontré que les quantitatifs extraits ne peuvent être utilisés directement mais nécessitent des méthodes de traitement chronophages pour ne retenir que les données utiles au calcul PEB.

Les résultats ont également révélé que les modèles physiques sont difficilement exploitables pour une étude réglementaire car leurs paramètres sont définis sur base de la réalité constructive du projet alors que la PEB utilise une représentation 3D simplifiée de cette réalité. Seuls les quantitatifs obtenus à partir de méthodes manuelles ont fourni des valeurs proches de celles définies pour l'encodage PEB. En outre, les propriétés thermiques fournies par Revit sont basées sur des hypothèses simplificatrices qui ont un impact conséquent sur les valeurs obtenues.

Par ailleurs, les modèles analytiques d'énergie générés par l'algorithme sont approximatifs et ne présentent pas une précision suffisante pour que leurs surfaces soient encodées dans le logiciel PEB.

L'évaluation du potentiel d'exploitation des modèles Revit pour une **simulation énergétique** dans le logiciel Green Building Studio a démontré que l'étape de modélisation est déterminante pour la réussite de la simulation.

Par ailleurs, alors que la majorité des données a bien été transférée des modèles Revit vers les fichiers GBXML, l'analyse du fichier GBXML issu de Green Building Studio fait état de plusieurs incohérences. Celles-ci sont relatives à des paramètres qui peuvent avoir un impact conséquent sur la précision des résultats obtenus : scénarios d'occupation attribués par défaut, données météorologiques issues de stations différentes, surfaces additionnelles et ajout d'éléments constructifs, propriétés thermiques qui ne tiennent pas compte de l'environnement des parois et des résistances thermiques superficielles, ... Par conséquent, le simulateur Green Building Studio semble peu adapté pour obtenir un diagnostic précis de l'état actuel d'un bâtiment existant.

Sur base des constats relevés lors des analyses effectuées, plusieurs pistes de réflexion sont proposées. La première est relative à l'étendue de la recherche au travail collaboratif. La deuxième piste porte sur le développement de l'interopérabilité entre les maquettes numériques BIM et le logiciel de certification PEB qui repose toujours actuellement sur un encodage manuel en vue de limiter les ressaisies de données et les erreurs. Enfin, les dernières perspectives portent sur l'étude du potentiel d'exploitation de maquettes numériques à partir d'un autre logiciel de modélisation et l'analyse de résultats fournis pas d'autres simulateurs que Green Building Studio.

---

# RÉFÉRENCES

---

## 8. RÉFÉRENCES

---

### 8.1. Livres et articles scientifiques

- Arayici, Y. (2015). *Building Information Modeling* (Première édition). Londres: Bookboon.
- Attia, S., Beltran, L., Herde, A. de & Hensen, J.L.M. (2009). *Architects Friendly: a comparison of ten different building performance simulation tools*. 11<sup>th</sup> IBPSA Building Simulation Conference, 27-30 juillet, pp. 204-211. Glasgow: International Building Performance Simulation Association.
- Attia, S. & Ruellan, G. (2016). Les problématiques de la rénovation du stock bâti dans la ville de demain : résultats d'une étude initiale en Belgique. In *Recueil des articles des 34èmes Rencontres Universitaires de Génie Civil de l'AUGC*. Université de Liège.
- Beazley, S., Heffernan, E. & McCarthy, T.J. (2017). Enhancing energy efficiency in residential buildings through the use of BIM: The case for embedding parameters during design. In *Energy Procedia* 121, 57-64.
- Bradley, N. & Krygiel, E. (2008). *Green BIM: Successful Sustainable Design with Building Information Modeling*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Celnik, O. & Lebègue, E. (2014). *BIM & maquette numérique pour l'architecture, le bâtiment et la construction* (Deuxième édition). Paris: Eyrolles.
- Deneux, D., Joblot, L., Paviot, T. & Lamouri, S. (2017). Literature review of Building Information Modeling (BIM) intended for the purpose of renovation projects. In *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), pp. 10518-10525. DOI: 10.1016/j.ifacol.2017.08.1298.
- Di Mascio, D. & Wang, X. (2013). Building Information Modelling (BIM)-Supported Cooperative Design in Sustainable Renovation Projects. In Luo Y. (Eds), *Cooperative Design, Visualization, and Engineering*, pp.205-212. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Directive 2014/24/UE du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014 sur la passation des marchés publics et abrogeant la directive 2004/18/CE. (2014). In *Journal officiel de l'Union Européenne*. Article 22.4.
- Eastman, C., Liston, K., Sacks, R. & Teicholz, P. (2011). *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors* (Deuxième édition). Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Ferrière, B. (2018). *Les IFC, visite guidée*. Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Toulouse.
- Fisch, R., Giebeler, G., Krause, H., Musso, F., Petzinka, K. & Rudolphi, A. (2012). *Rénover le bâti : Maintenance, reconversion, extension*. Lausanne : Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
- Gouvernement Wallon. (2017). *Annexe A1 à l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments, telle que modifiée par l'arrêté du Gouvernement wallon du 14 décembre 2017 modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments*.

- Gouvernement wallon. (2017). *Annexe 3 à l'arrêté du 15 décembre 2016 modifiant l'arrêté du Gouvernement wallon du 15 mai 2014 portant exécution du décret du 28 novembre 2013 relatif à la performance énergétique des bâtiments.*
- Issam, S. & Khaddaj, M. (2016). Using BIM to retrofit existing buildings. In *Procedia Engineering*, 145, pp. 1526-1533. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.04.192.
- Kensek, K. (2015). *Manuel BIM – Théorie et applications*. Paris: Eyrolles.
- Kreider R, Messner J & Dubler C. (2010). Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes on projects. In *Proceedings of the 6th International Conference on Innovation in Architecture, Engineering & Construction (AEC)*.
- Kreider, Ralph G. & Messner, John I. (2013). *The Uses of BIM: Classifying and Selecting BIM Uses*. Version 0.9, September, The Pennsylvania State University, University Park, PA, USA.
- Mlecnik, E., Hilderson, W., Cre, J., Desmidt, I., Uyttbroeck, Van Den Abeele, S., ... Henz, O. (2010). *Low energy housing retrofit (LEHR), final report*. Belgian Science Policy.
- Rasking, L. & Decroos, B. (2017). *BIMTonic – Une introduction au BIM*.
- Schultmann, F., Stengel, J. & Volk, R. (2014). Building Information Models (BIM) for existing buildings – literature review and future needs. In *Automation in Construction*, 38, pp.109-127. DOI: 10.1016/j.autcon.2013.10.023.
- Succar, B. (2009). Building information modelling framework: a research and delivery foundation for industry stakeholders. In *Automation in Construction*, 18(3), pp. 357-375.
- Trachte, S., & Salvesen, F. (2014). Sustainable Renovation of Non Residential Buildings, a Response to Lowering the Environmental Impact of the Building Sector in Europe. In *Energy Procedia*, 48, 1512–1518.
- Verhoeven, R. (2009). *Pathways to World-Class energy efficiency in Belgium*. McKinsey & Company.

## 8.2. Enquêtes, revues et ressources internet

- American Institute of Architects (AIA). (2013). *Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents*. G202-2013, Article 2, à partir de la p. 46. Téléchargé à l'adresse : <http://aiad8.prod.acquia-sites.com/sites/default/files/2017-02/2013%20Digital%20Practice%20Documents%20Guide.pdf>
- Autodesk Knowledge Network. (2017). *Workflow: Energy Optimization for Revit*. Consulté le 23 juin 2018 à l'adresse : <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2017/ENU/Revit-Analyze/files/GUID-3242666F-501E-434C-A584-9DEE71BB632E-htm.html>
- Autodesk Knowledge Network. (2016). *Green Building Studio base run construction*. Consulté le 20 juillet 2018 à l'adresse : <https://forums.autodesk.com/t5/insight-energy-forum/green-building-studio-base-run-construction/td-p/6499739>
- Autodesk Knowledge Network. (2016). *La surface analytique est différente de la surface du modèle*. Consulté le 20 juillet 2018 à l'adresse : <http://help.autodesk.com/view/RVT/2016/FRA/?guid=GUID-CEBE7B53-0585-491E-A806-E8355C994991>

- Autodesk Knowledge Network. (2014). *Energy Analysis using Building Elements - Model Validation*. Consulté le 20 juillet 2018 à l'adresse : <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2014/ENU/Revit/files/GUID-9DB01490-A0A1-4DA2-A9A9-4F766958017A-htm.html>
- BIMForum. (2017). *Level of Development Specification Part I*. Téléchargé à l'adresse : <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2017/11/LOD-Spec-2017-Part-I-2017-11-07.pdf>
- Centre interdisciplinaire de formation de formateurs de l'Université de Liège (CIFIUL) & Direction du bâtiment durable du Service public de Wallonie (DGO4). (2015). *Règlementation à partir du 1er mai 2015 : le Guide PEB 2015*. Téléchargé à l'adresse : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/le-guide-peb-2015.pdf?ID=32266>
- Comité technique BIM & ICT. (2018). *Bimportal.be*. Consulté le 30 mai 2018 à l'adresse : <https://www.bimportal.be/fr/>
- Commission Européenne. (2007). *2020 climate & energy package*. Consulté le 12 août 2018 à l'adresse : [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_en)
- Computer Integrated Construction Research Program. (2010). *BIM Project Execution Planning Guide - Version 2.0*. Pennsylvania State University, University Park, PA, USA. Téléchargé à l'adresse : [https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/default/files/bim\\_project\\_execution\\_planning\\_guide-v2.0.pdf](https://vdcscorecard.stanford.edu/sites/default/files/bim_project_execution_planning_guide-v2.0.pdf)
- Confédération Construction. (2016). *La construction numérique : Balises pour une transition réussie*. Rapport annuel 2016-2017. Téléchargé à l'adresse : [https://www.confederationconstruction.be/Portals/0/documenten/documenten%20-%20enkel%20leden/jaarverslag/Rapport%20Annuel\\_Confederation%20Construction\\_2016\\_2017\\_FR\\_WEB-190617.pdf](https://www.confederationconstruction.be/Portals/0/documenten/documenten%20-%20enkel%20leden/jaarverslag/Rapport%20Annuel_Confederation%20Construction_2016_2017_FR_WEB-190617.pdf)
- Centre Scientifique et Technique de la Construction (CSTC) & Cluster BIM. (2018). *Protocole BIM belge - Protocole de référence nationale pour les bâtiments (1<sup>ère</sup> version)*. Téléchargé à l'adresse : [https://www.bimportal.be/wp-content/uploads/PROTOCOLE\\_BIM\\_BELGE\\_FR\\_v1802.pdf](https://www.bimportal.be/wp-content/uploads/PROTOCOLE_BIM_BELGE_FR_v1802.pdf)
- Depret, Y. (2016). *ASSAR ARCHITECTS : vers le BIM Level 3*. Consulté le 17 août 2018 à l'adresse : <http://www.architectura.be/fr/actualite/13042/assar-architects-vers-le-bim-level-3>
- Direction générale Statistique. (2017). *Chiffres clés 2017. Aperçu statistique de la Belgique*. Téléchargé à l'adresse : [https://statbel.fgov.be/sites/default/files/files/documents/FR\\_kerncijfers\\_2017\\_web.pdf](https://statbel.fgov.be/sites/default/files/files/documents/FR_kerncijfers_2017_web.pdf)
- Gal, F. (2015). *Simulation thermique dynamique (STD) – Maîtrise des consommations d'énergie*. Consulté le 11 août 2018 à l'adresse : <https://www.techniques-ingenieur.fr/>
- Green Building XML Schema. (2016). *About gbXML*. Consulté le 16 août 2018 à l'adresse : [http://www.gbxml.org/About\\_GreenBuildingXML\\_gbXML](http://www.gbxml.org/About_GreenBuildingXML_gbXML)
- Massachusetts Institute of Technology (MIT). (2016). *BIM Execution Plan (version 3.3)*. MIT, Massachusetts. Téléchargé à l'adresse : [http://web.mit.edu/facilities/maps/MIT\\_BIM\\_execution\\_plan.pdf](http://web.mit.edu/facilities/maps/MIT_BIM_execution_plan.pdf)
- McGraw Hill Construction. (2014). *Smart Market Report : Valeur ajoutée du BIM pour la construction dans les grands marchés mondiaux : Comment les maîtres d'œuvre à travers le monde innovent avec la modélisation des données du bâtiment (BIM)*. Téléchargé à l'adresse :

<https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/files/fy15-q1-aec-btt-const-bim-report-fr.pdf>

McKinsey Global Institute (MGI). (2017). *Reinventing construction: A route to higher productivity*.

Téléchargé à l'adresse :  
<https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/Industries/Capital%20Projects%20and%20Infrastructure/Our%20Insights/Reinventing%20construction%20through%20a%20productivity%20revolution/MGI-Reinventing-Construction-Executive-summary.ashx>

National Building Information Modeling Standard (NBIMS). (2007). *National Building Information Modeling Standard Part-1: Overview, Principles and Methodologies*. US National Institute of Building Sciences Facilities Information Council, BIM Committee. Téléchargé à l'adresse :

[http://www.1stpricing.com/pdf/NBIMsv1\\_ConsolidatedBody\\_Mar07.pdf](http://www.1stpricing.com/pdf/NBIMsv1_ConsolidatedBody_Mar07.pdf).

Service Public de Wallonie. (2017). *Exigences PEB du 1er janvier 2018 au 31 décembre 2020*. Consulté le 18 juillet 2018 à l'adresse : <https://energie.wallonie.be/fr/exigences-peb-du-1er-janvier-2018-au-31-decembre-2020.html?IDC=7224&IDD=114085>

Service Public de Wallonie. (2015). *Le certificat PEB pour les bâtiments résidentiels existants et neufs*.

Téléchargé à l'adresse : <https://energie.wallonie.be/servlet/Repository/32423.pdf?ID=32423>

## TABLE DES FIGURES

Figure 1 – Valeur ajoutée par heure de travail et par personne engagée (gauche) et taux de croissance annuel (droite) entre 1995 et 2014 basé sur un échantillon de 41 pays (Source : McKinsey Global Institute, 2017) .....	5
Figure 2 - Propriétés associées à un élément de mur issu d'un modèle Revit .....	8
Figure 3 – Une modification d'un élément du modèle dans n'importe quelle vue mettra à jour toutes les autres (Adapté de Kensek, 2015) .....	8
Figure 4 - Exemples d'analyses à partir du modèle BIM (Adapté de BIMportal, 2018) .....	9
Figure 5 - Iles de l'automatisation (Adapté de Arayici, 2015) .....	10
Figure 6 - Acteurs impliqués dans la rédaction et l'application du protocole BIM selon le type de contrat (Adapté de Comité technique BIM & ICT, 2018) .....	12
Figure 7 - Fréquence de mise en œuvre de chaque usage BIM (Source : Kreider, Messner & Dubler, 2010) .....	14
Figure 8 - Relation entre fréquence de mise en œuvre et bénéfice perçu de chaque usage BIM (Source : Kreider <i>et al.</i> , 2010).....	15
Figure 9 - Echelle des classes énergétiques.....	20
Figure 10 - Processus de création du modèle BIM pour les constructions neuves et les bâtiments existants (Adapté de Schultmann <i>et al.</i> , 2014).....	23
Figure 11 - Techniques de relevé de l'existant (Adapté de Schultmann <i>et al.</i> , 2014) .....	24
Figure 12 - Schéma méthodologique global de ce mémoire .....	31
Figure 13 - Vue actuelle (façade avant) et vue d'époque du bâtiment (façade arrière vers 1905) (Sources : Photo personnelle et image d'archive).....	33
Figure 14 - Objectifs et usages BIM correspondants.....	34
Figure 15 – Mise en évidence des parois aux compositions hypothétiques dans le modèle Revit .....	35
Figure 16 - Modélisation d'un mur en briques selon la technique du "monocouche" .....	37
Figure 17 - Modélisation d'un mur en briques selon la technique du "multicouche" .....	37
Figure 18 – Perspective issue de la modélisation dans Revit.....	38
Figure 19 – Orientation du modèle Revit selon le nord géographique .....	39
Figure 20 – Encodage des unités dans l'arbre énergétique du logiciel PEB.....	42
Figure 21 – Vues en plan issues de Revit illustrant les unités PEB et leurs secteurs énergétiques .....	42
Figure 22 - Arbre énergétique complet issu du logiciel PEB .....	43
Figure 23 - Message d'erreur lors de l'ouverture du fichier PEB .....	44
Figure 24 - Volumes conceptuels des secteurs énergétiques modélisés dans Sketchup.....	45
Figure 25 - Définition de la surface de déperdition d'un mur extérieur (gauche) et d'un mur mitoyen (droite) sur une vue en plan .....	47
Figure 26 – Vue en plan issue de Revit illustrant le découpage du mur mitoyen séparant les parties 2007 et 1900.....	48
Figure 27 – Vue en plan issue de Revit illustrant les surfaces déperditives de planchers .....	50
Figure 28 – Vue en plan issue de Sketchup illustrant le découpage de la toiture du R+2 selon les secteurs énergétiques.....	51
Figure 29 – Vues en plan issues de Revit illustrant les surfaces chauffées des unités PEB 4 (gauche) et 5 (droite).....	51
Figure 30 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche (gauche) et multicouche (droite) .....	52
Figure 31 - Limite de pièce cochée et décochée pour deux occurrences de murs des modèles Revit... 52	
Figure 32 - Modèle analytique d'énergie généré dans Revit .....	53

Figure 33 - Surfaces analytiques de l'enveloppe extérieure et des murs et planchers intérieurs générées dans Revit .....	53
Figure 34 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche après modification de ses propriétés « Limite de pièce ».....	54
Figure 35 - Modèle analytique d'énergie généré dans Revit .....	54
Figure 36 - Surfaces analytiques de l'enveloppe extérieure et des murs et planchers intérieurs générées dans Revit .....	54
Figure 37 - Espacements importants au niveau de la loggia visualisés à partir du logiciel FZK .....	55
Figure 38 – Représentation d'une coupe d'about dans Revit.....	55
Figure 39 – Représentation d'une coupe en onglet dans Revit.....	56
Figure 40 - Loggia modifiée et visualisée à partir du logiciel FZK .....	56
Figure 41 - Surfaces analytiques d'énergie et espaces analytiques correspondants issus de la modélisation dans Revit.....	57
Figure 42 - Echelle de classes énergétiques .....	58
Figure 43 - Catégories de besoins nets en énergie de chauffage.....	58
Figure 44 - Représentation des espaces dans le modèle Revit.....	62
Figure 45 - Zone thermique associée au secteur énergétique 2A dans le modèle Revit .....	62
Figure 46 - Processus d'évaluation de l'intégrité du transfert des données.....	63
Figure 47 – Détail d'un raccord dalle de sol et mur intérieur .....	68
Figure 48 – Représentation du mur mitoyen entre les appartements 3 et 4 dans le modèle Revit .....	69
Figure 49 – Représentation du mur extérieur du rez-de-jardin dans le modèle Revit.....	69
Figure 50 – Fenêtres de la loggia et surfaces analytiques correspondantes dans Revit.....	72
Figure 51 - Fenêtre d'angle et surfaces analytiques correspondantes dans Revit .....	72
Figure 52 - Propriétés thermiques d'une fenêtre (Source : Revit) .....	77
Figure 53 - Propriétés thermiques d'une porte (Source : Revit).....	77
Figure 54 - Modèles analytiques Revit monocouche (gauche) et multicouche (droite) avant export en GBXML.....	77
Figure 55 – Modèles monocouche (gauche) et multicouche (droite) visualisés dans le logiciel FZK après export en GBXML .....	78
Figure 56 – Modèle analytique monocouche avant (gauche) et après (droite) export en GBXML suite à la modification de l'accrochage du plafonnage de toiture .....	78
Figure 57 – Surfaces analytiques manquantes au niveau de la mezzanine de la partie 2007 avant et après export en GBXML .....	79
Figure 58 – Position de la surface analytique d'un mur extérieur du modèle monocouche.....	79
Figure 59 - Surfaces analytiques des toitures dans le fichier Revit et dans le fichier GBXML exporté de Revit .....	80
Figure 60 – Visualisation d'un élément additionnel superposé à un élément de fenêtre dans le logiciel FZK.....	81
Figure 61 - Plan du sol défini au niveau du rez-de-jardin (gauche) et au rez-de-chaussée (droite) dans Revit .....	82
Figure 62 – Aperçu du coefficient U d'une des parois du modèle monocouche dans le logiciel FZK .....	83
Figure 63 - Plage horaire d'occupation de maisons sur 24h dans Revit.....	84
Figure 64 - Plage horaire d'éclairage dans Revit.....	85

## TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 - Résumé des chapitres du protocole BIM belge .....	11
Tableau 2 - Caractéristiques des niveaux de développement (Adapté du BIMForum, 2017) .....	13
Tableau 3 - Nombre de permis délivré pour les rénovations et les nouvelles constructions en Belgique entre 2011 et 2016 (Source : Direction générale Statistique, 2017) .....	16
Tableau 4 - Résumé du bilan énergétique d'une unité PEB résidentielle (Adapté de CIFFUL & DGO4, 2015). .....	17
Tableau 5 - Valeurs maximales admissibles du coefficient de transmission thermique U (Source : Service Public de Wallonie, 2017) .....	18
Tableau 6 - Exigences PEB en vigueur pour des unités résidentielles (Source : Service Public de Wallonie, 2017) .....	19
Tableau 7 - Chapitres du protocole de modélisation mis en place .....	32
Tableau 8 - Membres de l'équipe du projet .....	34
Tableau 9 - Documentation disponible sur l'existant .....	34
Tableau 10 - Logiciels utilisés et formats d'échange .....	36
Tableau 11 - Structuration du modèle Revit en niveaux d'élévation .....	36
Tableau 12 - Eléments de construction et informations intégrées .....	37
Tableau 13 - Paramètres énergétiques généraux (Adapté de Autodesk Knowledge Network, 2017). ....	39
Tableau 14 - Rappel des exigences PEB en fonction de la nature des travaux .....	41
Tableau 15 - Données dimensionnelles de chaque composant de l'arbre énergétique à encoder dans le logiciel .....	44
Tableau 16 - Résultats du calcul PEB .....	45
Tableau 17 - Structuration du relevé des matériaux de murs dans Revit .....	46
Tableau 18 - Surfaces des couches de matériaux d'un mur extérieur pour le modèle multicouche .....	47
Tableau 19 - Structuration de la nomenclature de murs dans Revit .....	48
Tableau 20 - Calcul des coefficients U et R des murs monocouches .....	49
Tableau 21 - Structuration de la nomenclature de fenêtres dans Revit .....	49
Tableau 22 - Structuration de la nomenclature de portes dans Revit .....	49
Tableau 23 - Structuration de la nomenclature de surfaces dans Revit .....	50
Tableau 24 - Structuration de la nomenclature de surfaces analytiques dans Revit .....	56
Tableau 25 - Exemple de calcul du pourcentage de variation de la surface d'un élément de mur entre le logiciel PEB et Revit .....	57
Tableau 26 - Résultats des indicateurs <b>Espec</b> et des BNE .....	58
Tableau 27 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de murs .....	59
Tableau 28 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de sols .....	59
Tableau 29 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de toitures .....	59
Tableau 30 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces des ouvertures .....	60
Tableau 31 - Valeurs des indicateurs après variation des coefficients U .....	60
Tableau 32 - Valeurs des indicateurs après variation du volume protégé de chaque unité PEB .....	60
Tableau 33 - Valeurs des indicateurs après variation des surfaces de planchers chauffés de chaque unité PEB .....	61
Tableau 34 - Extrait du tableau comparatif des surfaces de parois .....	65
Tableau 35 - Extrait du tableau comparatif des propriétés thermiques .....	66
Tableau 36 - Extrait du tableau comparatif des volumes protégés .....	66
Tableau 37 - Extrait du tableau comparatif des surfaces de plancher chauffés .....	66
Tableau 38 - Comparaison des surfaces de murs .....	67
Tableau 39 - Comparaison des surfaces de planchers/plafonds .....	70

Tableau 40 - Comparaison des surfaces de fenêtres .....	71
Tableau 41 - Comparaison des surfaces de portes.....	72
Tableau 42 - Comparaison des surfaces de toitures .....	73
Tableau 43 - Comparaison des surfaces de planchers chauffés.....	73
Tableau 44 - Comparaison des volumes protégés.....	74
Tableau 45 - Comparaison des propriétés des murs.....	75
Tableau 46 - Comparaison des propriétés des planchers/plafonds .....	76
Tableau 47 - Comparaison des propriétés des toitures .....	76
Tableau 48 - Comparaison des propriétés des fenêtres et portes .....	76
Tableau 49 - Comparaison des surfaces analytiques des modèles monocouche et multicouche.....	80
Tableau 50 - Propriétés récupérées lors de l'export GBXML .....	82
Tableau 51 – Comparaison des données météorologiques et géographiques.....	83
Tableau 52 – Comparaison des apports internes entre les fichiers Revit et GBXML.....	84
Tableau 53 - Comparaison des plages horaires utilisées entre les fichiers Revit et GBXML.....	84
Tableau 54 - Incohérences relevées au niveau des données météo.....	85
Tableau 55 - Propriétés assignées aux parois ajoutées par Green Building Studio.....	86
Tableau 56 - Apport supplémentaire pour les équipements intérieurs.....	86
Tableau 57 - Scénarios supplémentaires d'exploitation .....	87

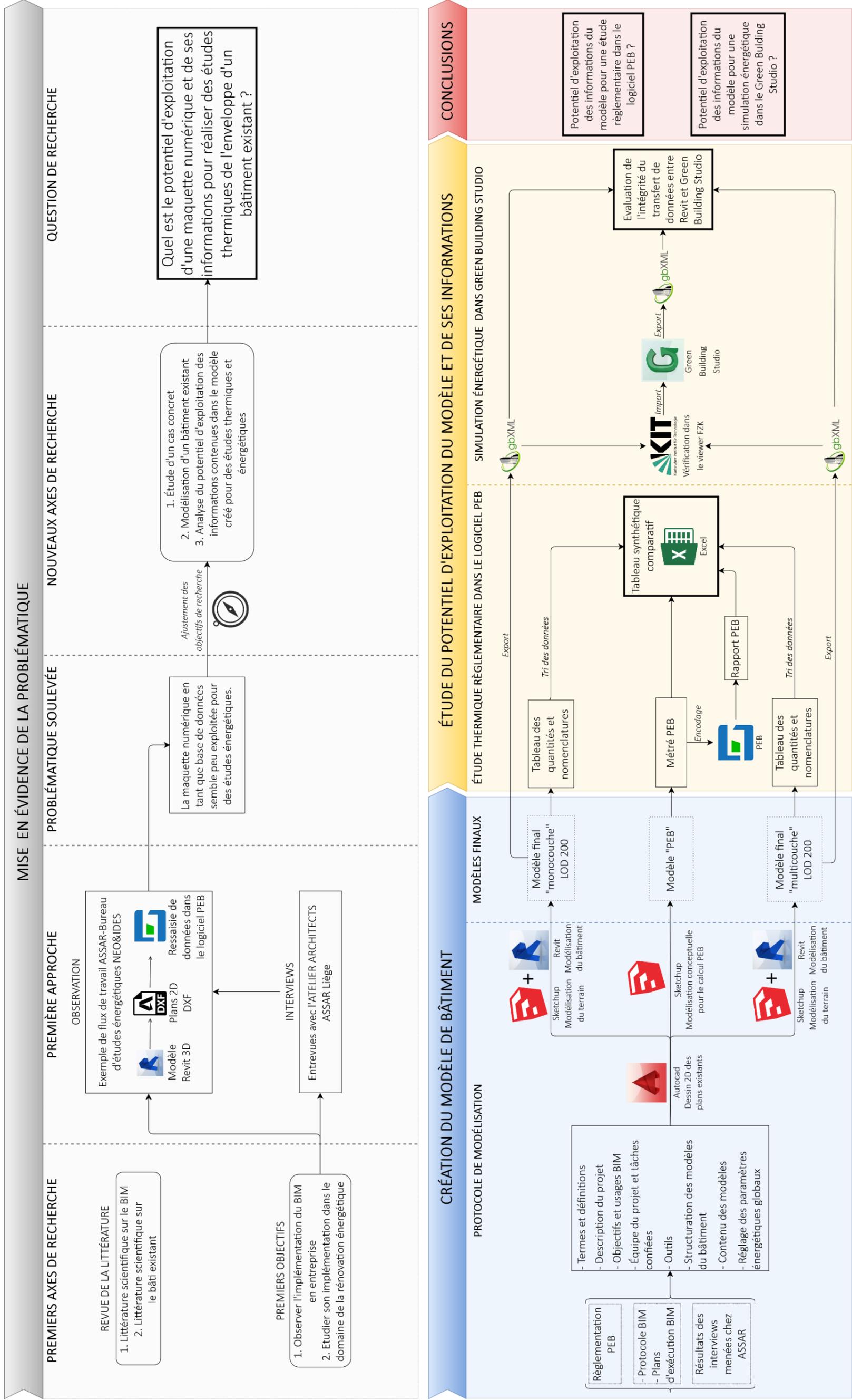
---

# ANNEXES

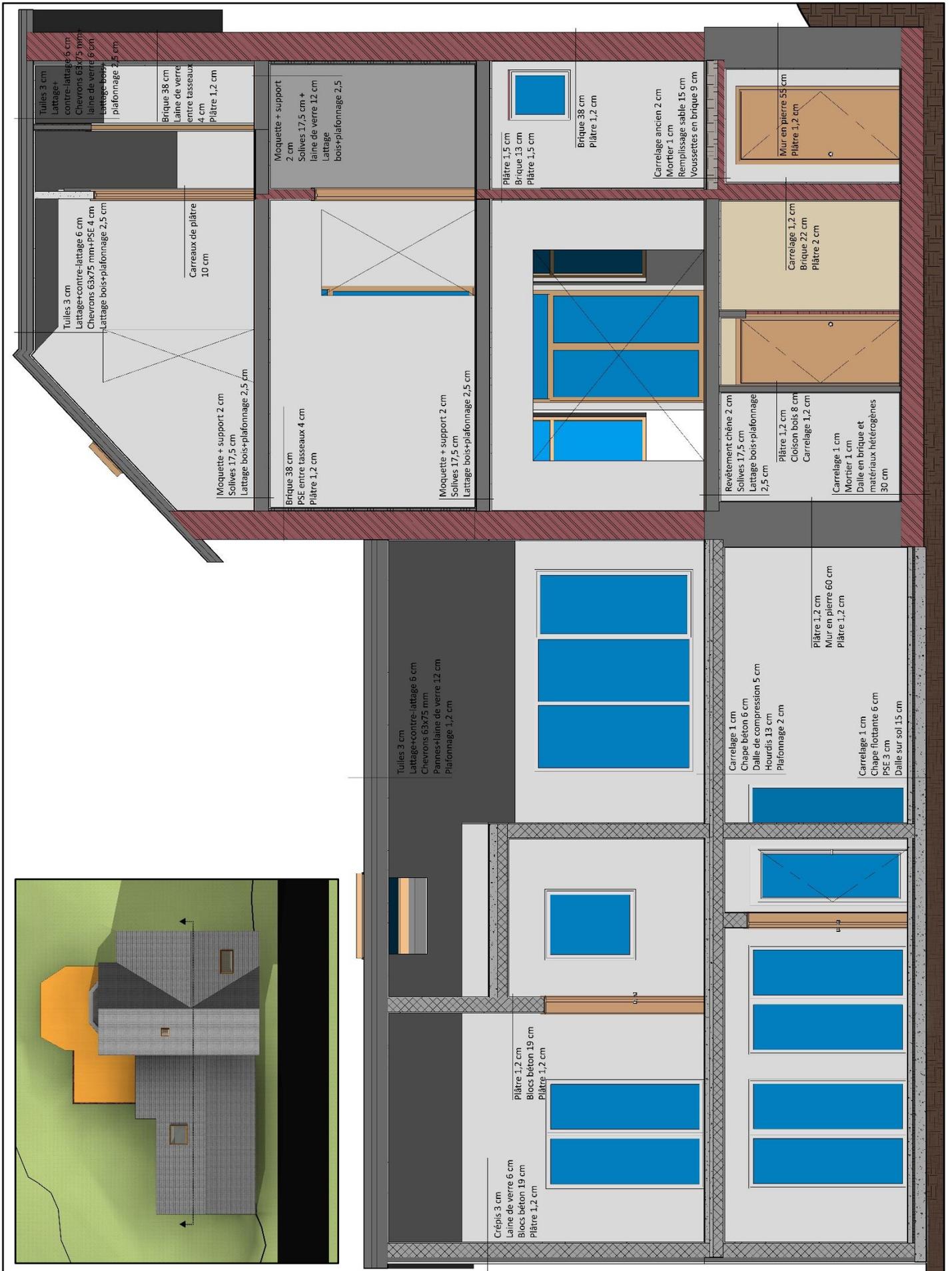
---

# Table des annexes

Annexe 1 - Schéma général de la démarche de recherche.....	106
Annexe 2 - Détail des compositions de parois.....	107
Annexe 3 - Détermination d'un $\lambda_{eq}$ pour les couches de matériaux hétérogènes.....	110
Annexe 4 - Détermination du type de construction des secteurs énergétiques.....	111
Annexe 5 - Relevé brut des matériaux de murs du modèle monocouche.....	112
Annexe 6 - Relevé brut des matériaux de murs du modèle multicouche.....	119
Annexe 7 - Nomenclature brute des murs du modèle monocouche.....	125
Annexe 8 - Nomenclature brute des murs du modèle multicouche.....	126
Annexe 9 - Nomenclature brute des fenêtres.....	127
Annexe 10 - Nomenclature brute des portes.....	128
Annexe 11 - Nomenclature brute de planchers/plafonds du modèle monocouche.....	129
Annexe 12 - Nomenclature brute de planchers/plafonds du modèle multicouche.....	129
Annexe 13 - Nomenclature brute des toitures du modèle monocouche.....	130
Annexe 14 - Nomenclature brute des toitures du modèle multicouche.....	130
Annexe 15 - Relevé intermédiaire des matériaux de murs du modèle monocouche.....	130
Annexe 16 - Relevé intermédiaire des matériaux de murs du modèle multicouche.....	132
Annexe 17 - Nomenclature intermédiaire des murs du modèle monocouche.....	134
Annexe 18 - Nomenclature intermédiaire des murs du modèle multicouche.....	136
Annexe 19 - Nomenclature intermédiaire des fenêtres.....	136
Annexe 20 - Nomenclature intermédiaire des portes.....	137
Annexe 21 - Nomenclature des surfaces de planchers.....	138
Annexe 22 - Nomenclature intermédiaire des planchers/plafonds du modèle monocouche.....	138
Annexe 23 - Nomenclature intermédiaire des planchers/plafonds du modèle multicouche.....	139
Annexe 24 - Nomenclature intermédiaire des toitures du modèle monocouche.....	139
Annexe 25 - Nomenclature des surfaces de planchers chauffées.....	140
Annexe 26 - Nomenclature des surfaces analytiques du modèle monocouche.....	140
Annexe 27 - Nomenclature des surfaces analytiques du modèle multicouche.....	143
Annexe 28 - Nomenclature des espaces analytiques des modèles monocouche et multicouche.....	147
Annexe 29 - Nomenclature des espaces.....	148
Annexe 30 - Nomenclature des zones HVAC.....	149
Annexe 31 - Scénarios d'exploitation des équipements intérieurs.....	149



## Annexe 2 - Détail des compositions de parois







Annexe 3 - Détermination d'un  $\lambda_{\text{éq}}$  pour les couches de matériaux hétérogènes

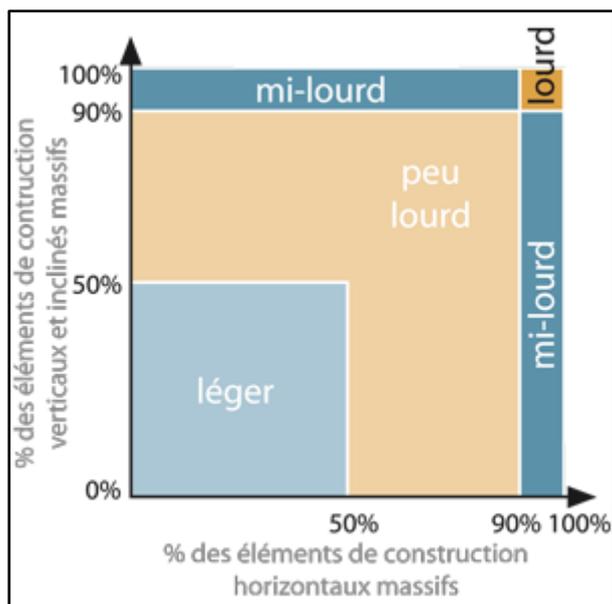
PAROIS MAÇONNÉES	Brique + joint (extérieur)	Bloc creux de béton lourds 19 cm+ joint	Bloc creux de béton lourds 14 cm+ joint	Bloc de béton lourds 39 cm+ joint	Brique + joint (intérieur)
Densité [kg/m <sup>3</sup> ]	1650	2400	2400	2400	1650
Largeur [m]	0,09	0,19	0,14	0,14	0,09
Longueur l [m]	0,22	0,29	0,29	0,29	0,22
Hauteur h [m]	0,05	0,19	0,19	0,19	0,05
Epaisseur joint d [m]	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
R <sub>bloc</sub>	/	0,14	0,11	/	/
$\lambda_{U,\text{brique/bloc}}$	1,19	1,357	1,273	1,470	0,6
$\lambda_{U,\text{joint}}$	1,5	0,93	0,93	1,5	0,93
c [J/kg.K]	1000	1000	1000	1000	1000
Surface joint [m <sup>2</sup> ]	0,0058	0,01	0,01	0,01	0,0058
Surface brique/bloc [m <sup>2</sup> ]	0,011	0,0551	0,0551	0,0551	0,011
Surface totale [m <sup>2</sup> ]	0,0168	0,0651	0,0651	0,0651	0,0168
$\lambda_{U,\text{moyen}}$	<b>1,297</b>	<b>1,2915</b>	<b>1,2201</b>	<b>1,4746</b>	<b>0,714</b>

PAROIS MAÇONNÉES	Pierre + joint (extérieur)	Pierre + joint (intérieur)
Densité [kg/m <sup>3</sup> ]	2850	2850
c [J/kg.K]	1000	1000
% <sub>joint</sub>	0,16	0,16
% <sub>pierre</sub>	0,84	0,84
$\lambda_{U,\text{brique/bloc}}$	3,5	3,5
$\lambda_{U,\text{joint}}$	1,5	0,93
$\lambda_{U,\text{moyen}}$	<b>3,180</b>	<b>3,0888</b>

PAROIS À OSSATURE BOIS	Pannes + laine de verre	Tasseaux bois + PSE (4cm)	Tasseaux bois + laine de verre (6cm)
Densité [kg/m <sup>3</sup> ]	300	300	300
c [J/kg.K]	1880	1880	1880
Entraxe e [m]	0,6	0,4	0,4
Epaisseur d [m]	0,12	0,06	0,06
$\lambda_{U,\text{bois}}$	0,13	0,13	0,13
$\lambda_{U,\text{isolant/air}}$	0,035	0,05	0,035
% <sub>isolant</sub>	0,9	0,85	0,85
% <sub>bois</sub>	0,100	0,15	0,15
$\lambda_{U,\text{moyen}}$	<b>0,04450</b>	<b>0,062</b>	<b>0,04925</b>

PAROIS À OSSATURE BOIS	Chevrons + PSE + air	Solives + laine de verre + air	Solives + air	Solives + air	Tasseaux bois + air (6cm)	Tasseaux bois + air (8cm)	Tasseaux bois + air (13cm)	Tasseaux bois + air (18cm)
c [J/kg.K]	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1880
Densité [kg/m <sup>3</sup> ]	300	300	300	300	300	300	300	300
Entraxe e [m]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Epaisseur d [m]	0,075	0,175	0,175	0,06	0,06	0,08	0,13	0,18
$\lambda_{U,bois}$	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
$\lambda_{U,isolant}$	0,05	0,035	/	/	/	/	/	/
R <sub>air, non ventilé</sub>	0,16	0,16	0,16	0,16	0,18	0,18	0,18	0,18
$\lambda_{U,air}$	0,46875	1,094	1,094	0,375	0,333	0,444	0,722	1,000
% <sub>bois</sub>	0,200	0,200	0,150	0,150	0,15	0,15	0,15	0,15
% <sub>isolant</sub>	0,700	0,700	/	/	/	/	/	/
% <sub>air</sub>	0,100	0,100	0,850	0,850	0,85	0,85	0,85	0,85
$\lambda_{U,moyen}$	<b>0,108</b>	<b>0,160</b>	<b>0,949</b>	<b>0,338</b>	<b>0,3028</b>	<b>0,3973</b>	<b>0,6334</b>	<b>0,8695</b>

#### Annexe 4 - Détermination du type de construction des secteurs énergétiques



SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 1A			SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 1B		
Surface des éléments horizontaux massifs [m <sup>2</sup> ]		% lourd	Surface des éléments horizontaux massifs [m <sup>2</sup> ]		% lourd
Lourds	105,12	100	Lourds	15,89	100
Surface des éléments verticaux ou inclinés [m <sup>2</sup> ]		% lourd	Surface des éléments verticaux ou inclinés [m <sup>2</sup> ]		% lourd
Lourds	85,19	82,50	Lourds	30,63	94,19
Légers	18,07		Légers	1,89	
<b>MI-LOURD</b>			<b>LOURD</b>		

SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 2A			SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 2B		
<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>	<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	78,88	79,37	Lourds	4,33	50,00
Légers	20,5		Légers	4,33	
<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>	<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	69,5	79,27	Lourds	5,38	22,54
Légers	18,18		Légers	18,49	
<b>PEU LOURD</b>			<b>PEU LOURD</b>		

SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 3		
<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	64,38	43,74
Légers	82,8	
<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	133,21	56,25
Légers	103,61	
<b>PEU LOURD</b>		

SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 4		
<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Légers	103,12	0
<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	72,23	77,71
Légers	20,72	
<b>PEU LOURD</b>		

SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 5A			SECTEUR ÉNERGÉTIQUE 5B		
<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>	<i>Surface des éléments horizontaux massifs [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Légers	48,98	0	Légers	2,73	0
<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>	<i>Surface des éléments verticaux ou inclinés [m<sup>2</sup>]</i>		<i>% lourd</i>
Lourds	42,67	35,43	Lourds	6,14	27,72
Légers	77,75		Légers	16,01	
<b>LÉGER</b>			<b>LÉGER</b>		

#### Annexe 5 - Relevé brut des matériaux de murs du modèle monocouche

RELEVÉ DE MATÉRIAUX DE MURS MODÈLE MONOCOUCHE			
Fonction	Type	Matériau : Nom	Surf. [m <sup>2</sup> ]
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Laine de verre entre tasseaux+plâtre SDB - 6+1,2 cm	A_Panneau de gypse	5,24
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Laine de verre entre tasseaux+plâtre SDB - 6+1,2 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	5,24
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	5,77
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	0,52
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	3,34
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	5,87
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	1,49
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	1,52

Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	3
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	5,46
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	A_Panneau de gypse	5,78
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	4,49
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,49
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	18,3
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	18,3
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	3,04
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	3,04
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	8,5
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	8,5
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	21,27
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	21,27
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	7,04
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	7,04
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	4,18
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,18
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	1,82
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	2,08
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	1,83
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	10,69
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,41
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	3,72
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	21,47
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,14
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,34
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,18
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,87
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	10,76
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,79
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,79
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,94
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,18
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,61
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	24,16
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,45
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,48
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,92
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,5
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,26
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,19
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,5
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,49
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,4
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	11,9
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	A_Grès (extérieur)	3,31
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	A_Grès (extérieur)	4,03





Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	0,14
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	1,92
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,61
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	2,48
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	3,56
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	5,9
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	12,47
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	5,32
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	9,28
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	4,23
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	1,16
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	0,69
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	5,81
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	4,23
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	17,55
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	11,22
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	8,76
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	4,87
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	6,84
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	7,31
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	A_Panneau de gypse	6,2
Extérieur	1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	A_Lame d'air non ventilée	3,79
Extérieur	1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	A_Lame d'air non ventilée	3,65
Extérieur	1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	A_Lame d'air non ventilée	5,52
Extérieur	1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	A_Lame d'air non ventilée	3,34
Extérieur	1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	A_Lame d'air non ventilée	1,36
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	1,39
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	3,98
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	5,91
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	3,8
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	5
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,26
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,26
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	2,97
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,78
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,89
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,62
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	0,74
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,73
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	6,55
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	8,85
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	1,25
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	11,81
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	3,39
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	4,1
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	3,89
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	8,09

Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	0,63
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	2,63
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	13,03
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	2,28
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	7,79
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	13,67
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	4,18
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	9,95
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	1,17
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	4,58
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	2,74
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	0,49
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	23,5
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	20,69
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	13,13
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	3,51
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	A_Laine de verre	4,1
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	6,96
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	4,88
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	10,12
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	7,24
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	23,7
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	12,16
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,78
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	2,61
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,79
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	8,75
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	2,88
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	23,74
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	20,9
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	13,49
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,06
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,97
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	0,78
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,15
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	5,27
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	2,02
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,09
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	0,56
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	7,71
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	9,24
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,37
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,92
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,81
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	12,9
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,16
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,23

Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,45
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,54
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+air(d=6cm)	3,33
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	3,8
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,43
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	2,07
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,14
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	3,18
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	2,89
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 18 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	2,15
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 18 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	0,75
Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	A_Carreaux de PVC	4,65
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	A_Panneau de gypse	2,61
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	A_Brique (intérieure)	2,61
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,95
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,84
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	2,27
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	3,57
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	1,56
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	2,35
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	5,61
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (intérieure)	3,53
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (intérieure)	17,67
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (intérieure)	4,87
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 55 cm	A_Grès (intérieur)	8,36
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	5,85
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	4,69
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	7,34
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	2,68
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	5,36
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	5,36
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	8,83
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	8,83
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	8,37
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	8,37
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,76
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,76
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	0,83
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	0,83
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	10,24
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	10,24
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,46
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,46
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,88
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,88
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,5
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,5

Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	10,48
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	10,48
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,98
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,98
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,68
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,68
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	2,21
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	2,21
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,33
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,33
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	17
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	17
Soutèn.	1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	A_Grès (extérieur)	18,66
Soutèn.	1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	A_Grès (extérieur)	15,11
Soutèn.	2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	20,25
Soutèn.	2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	7,17

#### Annexe 6 - Relevé brut des matériaux de murs du modèle multicouche

RELEVÉ DE MATÉRIAUX DE MURS MODÈLE MULTICOUCHE			
Fonction	Type	Matériau : Nom	Surf. [m²]
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	0,47
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	0,47
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	0,48
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,43
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	1,43
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	1,58
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	1,58
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	1,58
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	1,58
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Panneau de gypse	1,64
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,64
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	1,65
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Panneau de gypse	1,65
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Lame d'air non ventilée	1,65
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,65
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,77
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	1,77
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Panneau de gypse	1,8
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,8
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,84
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	1,84
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Panneau de gypse	1,99
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,99
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	2,27
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	2,27

Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	2,27
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	2,27
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,41
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	2,41
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	2,62
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	2,62
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	2,62
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	2,62
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,72
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	2,72
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	2,92
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,92
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	2,92
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,93
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	2,93
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	A_Brique (extérieure)	3,15
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	A_Panneau de gypse	3,15
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Grès (extérieur)	3,28
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Panneau de gypse	3,28
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	3,68
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Panneau de gypse	3,68
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Lame d'air non ventilée	3,68
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,68
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	3,71
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	3,71
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,71
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	3,71
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	3,72
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	3,72
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	3,73
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Panneau de gypse	3,73
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Lame d'air non ventilée	3,73
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,73
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Grès (extérieur)	4,04
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Panneau de gypse	4,04
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	4,18
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Panneau de gypse	4,18
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Lame d'air non ventilée	4,18
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,18
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	4,22
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	4,22
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,22
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	4,22
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	4,53
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Panneau de gypse	4,53
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Lame d'air non ventilée	4,53
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,53

Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	4,66
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	4,66
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,66
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	4,66
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,73
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	4,79
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,79
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	4,79
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Laine de verre	4,88
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,88
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,88
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Panneau de gypse	4,88
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	4,94
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,94
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	4,94
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,97
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	4,97
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,15
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	5,15
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,38
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	A_Panneau de gypse	5,38
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	5,38
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,59
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	5,59
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Laine de verre	6,96
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	6,96
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	6,96
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Panneau de gypse	6,96
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	7,03
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	7,03
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	7,03
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	7,03
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Laine de verre	7,23
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	7,23
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	7,23
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Panneau de gypse	7,23
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	7,97
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	7,97
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,16
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	8,16
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,2
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	8,2
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	8,8
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,8
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	8,8
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	8,85
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	8,85

Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	8,85
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	8,85
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Laine de verre	9,38
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,38
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	9,38
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Panneau de gypse	9,38
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	9,4
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,4
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	9,4
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	9,69
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,69
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	9,69
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	11,19
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	11,19
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	11,72
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	11,72
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	11,72
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	11,81
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	11,81
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	11,81
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	11,81
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	12,32
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Laine de verre	12,32
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	12,32
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Panneau de gypse	12,32
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	A_Panneau de gypse	13,14
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	14,06
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	14,06
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	21,42
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Panneau de gypse	21,42
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Laine de verre	22,46
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	22,46
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	22,46
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Panneau de gypse	22,46
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Tasseaux bois+PSE	25,27
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	25,27
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Panneau de gypse	25,27
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Panneau de gypse	0,76
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Carrelage	0,76
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	0,76
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	0,83
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	0,83
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Panneau de gypse	1,09
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Carrelage	1,09
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,09
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,39
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,39

Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Panneau de gypse	1,4
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Carrelage	1,4
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,4
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,42
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,42
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,48
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,48
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	1,64
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	1,64
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	1,64
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	1,64
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,79
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,79
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,79
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Revêtement de bois en aggloméré	1,79
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,85
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,85
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Revêtement de bois en aggloméré	1,85
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	A_Panneau de gypse	1,93
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,93
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	2,15
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	2,15
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Panneau de gypse	2,17
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Carrelage	2,17
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	2,17
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,3
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	2,31
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	2,31
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,31
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	A_Panneau de gypse	2,34
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	A_Brique (intérieure)	2,34
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	A_Panneau de gypse	2,57
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	A_Brique (intérieure)	2,57
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Panneau de gypse	2,66
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	2,66
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Panneau de gypse	2,85
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	2,85
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Panneau de gypse	2,88
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	2,88
Intérieur	2007 - Cloison - Blocs de béton+plâtre - 15,2 cm	A_Panneau de gypse	2,98
Intérieur	2007 - Cloison - Blocs de béton+plâtre - 15,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	2,98
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,09
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	3,09
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Panneau de gypse	3,24
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	3,24
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+air(d=6cm)	3,34
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	A_Panneau de gypse	3,34

Intérieur	1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	A_Panneau de gypse	3,53
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	A_Carrelage	3,53
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	A_Brique (intérieure)	3,53
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Panneau de gypse	3,56
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Brique (intérieure)	3,56
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	3,66
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	3,66
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Panneau de gypse	3,72
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Carrelage	3,72
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	3,72
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	3,72
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	3,72
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,73
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,73
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Panneau de gypse	3,82
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Brique (intérieure)	3,82
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Panneau de gypse	3,84
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	3,84
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,85
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,85
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	3,98
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	3,98
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	4,28
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	4,28
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Panneau de gypse	4,32
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	4,32
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	4,36
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,36
Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	A_Carreux de PVC	4,48
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Panneau de gypse	4,69
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Brique (intérieure)	4,69
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	5,06
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	5,06
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	5,28
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	5,28
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Panneau de gypse	5,58
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	5,58
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	6,02
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	6,02
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	6,62
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	6,62
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 57,4 cm	A_Panneau de gypse	6,63
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 57,4 cm	A_Grès (intérieur)	6,63
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Panneau de gypse	7,32
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	7,32
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	8,18
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	8,18

Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Panneau de gypse	8,76
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	8,76
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Panneau de gypse	8,78
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	8,78
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	10,45
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	10,45
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Panneau de gypse	10,67
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	10,67
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Panneau de gypse	11,96
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	11,96
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	16,97
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Panneau de gypse	16,97
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	7,5
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Panneau de gypse	7,5
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Grès (extérieur)	14,93
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Panneau de gypse	14,93
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	20,5
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Panneau de gypse	20,5
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Grès (extérieur)	18,47
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Panneau de gypse	18,47

#### Annexe 7 - Nomenclature brute des murs du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE MURS MODÈLE MONOCOUCHE				
Fonction	Type	R [m²K/W]	U [W/m²K]	
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Laine de verre entre tasseaux+plâtre SDB - 6+1,2 cm	1,2414	0,8056	
Extérieur	1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385	26,0000	
Extérieur	1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	0,6682	1,4965	
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	0,1091	9,1667	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,2930	3,4132	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	0,1415	7,0667	
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Bois peint - 1,5+0,5 cm	0,1596	6,2651	
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Carrelage - 1,2 cm	0,0100	100	
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	43,3333	
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288	34,6667	
Extérieur	1980 - Lamé d'air non ventilée - 4 cm	0,1802	5,5500	
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	0,0694	14,4111	
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	0,1147	8,7150	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	0,0200	50,0000	
Extérieur	2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	1,7143	0,5833	
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	0,0694	14,4111	
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	0,1471	6,7974	
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	0,1821	5,4923	
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	0,1923	5,2000	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 6 cm	0,1982	5,0467	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	0,2014	4,9663	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	0,2052	4,8723	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 18 cm	0,2070	4,8306	

Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	0,0526	19
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	0,1722	5,8071
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	1,2183	0,8208
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	0,3081	3,2455
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	0,5322	1,8789
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 55 cm	0,1781	5,6145
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	0,1943	5,1467
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	0,3850	2,5971
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	0,1724	5,7992
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	0,1933	5,1741
Soutènement	1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	0,1730	5,7818
Soutènement	2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	0,2645	3,7810

#### Annexe 8 - Nomenclature brute des murs du modèle multicouche

NOMENCLATURE DE MURS MODÈLE MULTICOUCHE			
Fonction	Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	0,3161	3,1639
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	0,3218	3,1072
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	1,5343	0,6517
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	0,1704	5,8701
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	0,9612	1,0403
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	0,1322	7,5661
Extérieur	1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	43,3333
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	0,3874	2,5814
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	1,9045	0,5251
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	1,9539	0,5118
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	0,1923	5,2
Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	0,0526	19
Intérieur	1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	0,1722	5,8071
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	0,2282	4,3816
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	0,2398	4,1707
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	0,2555	3,9142
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	1,2644	0,7909
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	1,5375	0,6504
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	0,2751	3,6354
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	0,2498	4,0029
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	0,2629	3,8032
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	0,5784	1,7290
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	0,3850	2,5971
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	0,3566	2,8044
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 57,4 cm	0,2243	4,4591
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	0,2405	4,1588
Intérieur	2007 - Cloison - Blocs de béton+plâtre - 15,2 cm	0,1378	7,2558
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	0,1724	5,7992
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	0,1933	5,1741
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	0,1960	5,1012
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	0,2876	3,4776

## Annexe 9 - Nomenclature brute des fenêtres

NOMENCLATURE DE FENÊTRES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE							
Niveau	Famille	Type	H [cm]	L [cm]	Surface [m <sup>2</sup> ]	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Fenêtre d'angle 1	Châssis PVC - 1060mmx2100mm	210	106	2,23	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Fenêtre d'angle 2	Châssis PVC - 720mmx2100mm	210	72	1,51	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 1200mmx1160mm	120	116	1,39	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 2650mmx1140mm	114	265	3,02	0,3196	3,1292
-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 1220mmx1140mm	114	122	1,39	0,3196	3,1292
-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 1220mmx1140mm	114	122	1,39	0,3196	3,1292
-01C - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1840mmx2190mm	219	184	4,03	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 850mmx1800mm	180	85	1,53	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 850mmx1800mm	180	85	1,53	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 620mmx780mm	78	62	0,48	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre voûtée deux vantaux	Châssis PVC - 1540mmx1790mm	179	154	2,76	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Porte-fenêtre deux vantaux avec imposte	Châssis bois - 1450mmx2575mm	258	145	3,73	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,4	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,4	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 250mmx2550mm	255	25	0,64	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre trois vantaux	Châssis PVC - 2700mmx2100mm	210	270	5,67	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 1200mmx1160mm	120	116	1,39	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,4	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Crépi	Châssis PVC - 900mmx1155mm	116	90	1,04	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 620mmx780mm	78	62	0,48	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée deux vantaux	Châssis PVC - 1540mmx1790mm	179	154	2,76	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée un vantail	Châssis bois - 670mmx1410mm	141	67	0,94	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée un vantail	Châssis PVC - 920mmx1710mm	171	92	1,57	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Porte-fenêtre deux vantaux avec imposte voûtée	Châssis bois - 1720mmx2480 mm	248	172	4,27	0,3196	3,1292
Corniche 2007	Fenêtre de toit	2007 - Châssis bois - 1110mmx1110mm	111	111	1,23	0,3196	3,1292
02- R+2	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 590mmx990mm	99	59	0,58	0,3196	3,1292
02- R+2	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis bois - 590mmx1010mm	101	59	0,6	0,3196	3,1292
Corniche 1900	Fenêtre de toit	1900 - Châssis bois - 1340mmx810mm	81	134	1,09	0,3196	3,1292
Corniche 1900	Fenêtre de toit	1900 - Châssis bois - 430mmx530mm	53	43	0,23	0,3196	3,1292

## Annexe 10 - Nomenclature brute des portes

NOMENCLATURE DE PORTES DES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE								
Niveau	Fonction	Famille	Type	H [cm]	L [cm]	Surface [m <sup>2</sup> ]	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
-01A - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre PVC - 700mmx1980mm	208	80	1,66	0,3374	2,9639
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 900 x 2100mm	213	95	2,02	0,4557	2,1944
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 800 x 2100mm	213	85	1,81	0,3911	2,5572
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 900 x 2100mm	213	95	2,02	0,4557	2,1944
-01B - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre bois - 850mmx1980mm	208	95	1,98	0,3196	3,1286
-01B - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre PVC - 850mmx1980mm	208	95	1,98	0,3374	2,9639
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Ouverture de baie	586 x 2040 mm	204	59	1,2		
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Ouverture de baie	840 x 2120 mm	212	84	1,78		
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Ouverture de baie	1860 x 1970 mm	197	186	3,66		
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 900 x 2100mm	213	95	2,02	0,4557	2,1944
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 750 x 2100mm	213	80	1,7	0,4557	2,1944
00 - Rez-de-chaussée	Extérieur	Porte d'entrée vitrée	Cadre PVC - 1000mmx2500mm	260	110	2,86	0,3374	2,9639
00 - Rez-de-chaussée	Extérieur	Porte d'entrée vitrée	Cadre PVC - 900mmx2500mm	253	96	2,43	0,3374	2,9639
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Ouverture de baie	2820 x 2270 mm	227	282	6,4		
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Ouverture de baie	0970 x2000mm	200	97	1,94		
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 900 x 2100mm	213	95	2,02	0,4557	2,1944
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 750 x 2100mm	213	80	1,7	0,4557	2,1944
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 800 x 2100mm	213	85	1,81	0,3911	2,5572
01B - R+1	Intérieur	Ouverture de baie	1155 x 2030 mm	203	115	2,33		
01B - R+1	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
01B - R+1	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572
01B - R+1	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 800 x 2100mm	213	85	1,81	0,3911	2,5572
02- R+2	Intérieur	Double porte	1530 x 2157 mm	216	153	3,3	0,6073	1,6466
02- R+2	Intérieur	Ouverture de baie	710 x 2000 mm	200	71	1,42		
02- R+2	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,91	0,3911	2,5572

Annexe 11 - Nomenclature brute de planchers/plafonds du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE PLANCHERS MODÈLE MONOCOUCHE			
Fonction	Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Extérieur	1900 - Béton de pente terrasse	0,0353	28,3333
Extérieur	1900 - Dalle loggia - Béton armé - 15 cm	0,0882	11,3333
Extérieur	1900 - Dalle sur sol - Brique - 30 cm	0,2313	4,3233
Extérieur	1900/2007 - Couche de finition - Carrelage contemporain sur mortier - 1+1 cm	0,0191	52,3944
Extérieur	1980 - Couche de finition intérieure - Bois sur lambourdes - 3+2 cm	0,289	3,4604
Extérieur	1980 - Couche de finition terrasse - Bois sur lambourdes - 3+2 cm		
Extérieur	2007 - Couche de finition terrasse - PSE+lambourdes+bois - 3+3+1 cm	0,6	1,6667
Extérieur	2007- Dalle sur sol - 15 cm	0,0682	14,6667
Intérieur	1900 - Couche de finition - Carrelage ancien sur mortier - 1+2 cm	0,0274	36,4706
Intérieur	1900 - Couche de finition - Chêne - 2 cm	0,1538	6,5
Intérieur	1900 - Couche de finition - Moquette sur support - 1+1 cm	0,2436	4,1053
Intérieur	1900 - Laine de verre entre solives 63mmx175mm - 12 cm	1,0938	0,9143
Intérieur	1900 - Plancher solives - 17,5 cm	0,1844	5,4229
Intérieur	2007 - Couche de finition - Béton+carrelage - 6+1cm	0,0436	22,9213
Intérieur	2007 - Couche de finition dalle de sol - PSE+béton+carrelage - 3+6+1 cm	0,6436	1,5537
Intérieur	2007 - Plancher hourdis - 13+5 cm	0,1396	7,1643
NOMENCLATURE DE PLAFONDS MODÈLE MONOCOUCHE			
	1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	13	0,0769
	1900 - Voussettes - Brique+sable - 9+15 cm	1,9337	0,5172
	1900/2007 - Plafond - Plâtre - 2 cm	26	0,0385
	2007 - Retour d'isolant - Laine de verre - 6 cm	0,5833	1,7143
	2007 - Retour revêtement extérieur - Crépi - 3cm	50	0,02

Annexe 12 - Nomenclature brute de planchers/plafonds du modèle multicouche

NOMENCLATURE DE PLANCHERS MODÈLE MULTICOUCHE			
Fonction	Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
Extérieur	1900 - Dalle sur sol - 32 cm	0,2504	3,9938
Extérieur	1900 - Terrasse loggia - 23,5 cm	0,2005	4,9887
Extérieur	1980 - Plancher loggia - 22,5 cm	0,4541	2,202
Extérieur	1980 - Terrasse - 22,5 cm	0,1652	6,0548
Extérieur	2007 - Terrasse - 27 cm	0,778	1,2853
Extérieur	2007- Dalle sur sol - 25 cm	0,7118	1,4049
Intérieur	1900 - Plancher solives isolé - 22 cm	1,4143	0,7071
Intérieur	1900 - Plancher solives finition chêne - 22 cm	0,4152	2,4086
Intérieur	1900 - Plancher solives finition moquette - 22 cm	0,5049	1,9805
Intérieur	1900 - Voussettes - 29 cm	0,6397	1,5633
Intérieur	2007 - Plancher hourdis - 27 cm	0,2217	4,5112
NOMENCLATURE DE PLAFONDS MODÈLE MULTICOUCHE			
	2007 - Retour d'enduit - 34 cm	1,9175	0,5215

Annexe 13 - Nomenclature brute des toitures du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE TOITS MODÈLE MONOCOUCHE		
Type	R [m²K/W]	U [W/m²K]
1900 - Plafonnage toiture - Lattage+plâtre - 2,5 cm	0,0769	13
1900 - PSE entre chevrons 63mmx75mm - 4 cm	0,6944	1,44
1900/2007 - Revêtement toiture - Tuiles+lattage+contre-lattage - 6+3 cm	-	-
2007 - Pannes+chevrons - 12+6 cm	2,8741	0,3479
2007 - Plafonnage toiture - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	43,3333

Annexe 14 - Nomenclature brute des toitures du modèle multicouche

NOMENCLATURE DE TOITS MODÈLE MULTICOUCHE		
Type	R [m²K/W]	U [W/m²K]
1900 - Toiture - 15,5 cm	0,7714	1,2964
2007 - Toiture - 28,2 cm	2,8972	0,3452

Annexe 15 - Relevé intermédiaire des matériaux de murs du modèle monocouche

RELEVÉ DE MATÉRIAUX DE MURS MODÈLE MONOCOUCHE				
Fonction	Type	Matériau : Nom	Surf. [m²]	Surf. totale [m²]
Soutènement	2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	20,254	20,254
Soutènement	2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	7,167	7,167
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,622	11,173
Extérieur	1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	6,551	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	8,849	25,342
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	1,253	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	3,895	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	8,087	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	0,626	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	2,632	
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	6,958	6,958
Extérieur	2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	7,714	7,714
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	5,15	5,15
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	4,228	4,228
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	A_Grès (intérieur)	7,339	7,339
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	1,816	5,725
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	2,081	
Extérieur	1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	A_Béton armé	1,828	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	10,108	23,905
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,411	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,339	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,181	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,866	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	11,813	34,619
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	3,394	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	4,105	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	13,026	
Extérieur	2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	A_Crépi	2,281	

Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	7,242	30,36
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	23,118	
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,918	15,838
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	12,92	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	2,866	2,866
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	3,722	34,755
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	21,47	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,14	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,923	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,5	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,79	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,937	13,727
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	A_Grès (extérieur)	4,029	4,029
Soutènement	1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	A_Grès (extérieur)	18,655	33,769
Soutènement	1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	A_Grès (extérieur)	15,114	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	10,755	64,403
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,789	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	4,182	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,613	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	24,161	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	11,903	
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,813	2,813
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	3,185	3,185
Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	A_Carreux de PVC	4,65	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,448	34,283
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	1,484	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	2,257	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,191	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	8,503	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,4	
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (extérieure)	5,491	5,491
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,536	2,536
Intérieur	1900 - Cloison - Brique - 13 cm	A_Brique (intérieure)	2,373	2,373
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,16	3,387
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,227	
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,946	3,788
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,842	
Intérieur	1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,941	1,941
Extérieur	1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	A_Grès (extérieur)	3,308	3,308
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	1,39	20,08
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	3,984	
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	5,91	
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	3,8	
Extérieur	1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	A_Brique peinte	4,996	
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	4,878	14,994
Extérieur	2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	A_Brique (extérieure)	10,116	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 18 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	2,152	2,901

Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 18 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	0,749	
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (intérieure)	4,868	4,868
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	3,804	6,364
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,425	
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,135	
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	3,574	3,574
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	A_Brique (intérieure)	2,347	2,347
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	A_Brique (intérieure)	3,526	3,526
Intérieur	1900 - Cloison - Ossature bois - 6 cm	A_Tasseaux bois+air(d=6cm)	3,33	3,33

#### Annexe 16 - Relevé intermédiaire des matériaux de murs du modèle multicouche

RELEVÉ DE MATÉRIAUX DE MURS MODÈLE MULTICOUCHE				
Fonction	Type	Matériau : Nom	Surf. [m <sup>2</sup> ]	Surf. totale [m <sup>2</sup> ]
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	8,849	25,205
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	1,584	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	4,656	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	7,032	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	0,468	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	2,616	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	6,958	6,958
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	20,5	20,5
Soutènement	2007 - Soutènement - 40,2 cm	A_Blocs de béton lourd (39 cm)	7,5	7,5
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	4,356	10,379
Intérieur	2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	A_Blocs creux de béton lourd (14 cm)	6,023	
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	4,323	4,323
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	7,318	7,318
Intérieur	2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	A_Blocs creux de béton lourd (19 cm)	6,616	6,616
Intérieur	1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	A_Grès (intérieur)	5,58	5,58
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	1,653	17,768
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	4,176	
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	4,535	
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	3,726	
Extérieur	1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	A_Brique peinte	3,678	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,878	14,258
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,38	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Grès (extérieur)	3,283	3,283
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Brique (intérieure)	3,564	3,564
Intérieur	1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	A_Brique (intérieure)	4,688	4,688
Intérieur	1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	A_Brique (intérieure)	2,31	2,31
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	2,166	9,121
Intérieur	1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=18cm)	0,755	
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	3,719	
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,396	
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	A_Tasseaux bois+air(d=8cm)	1,085	
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+air(d=6cm)	3,34	

Intérieur	1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	A_Brique (intérieure)	3,532	3,532
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	11,194	21,805
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,967	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,926	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,718	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	A_Brique (extérieure)	3,148	
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,645	5,444
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,804	
Extérieur	1900 - Mur loggia -25,2 cm	A_Béton armé	1,995	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	11,813	34,333
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	4,219	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	3,712	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	12,315	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	A_Crépi	2,274	
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	7,226	29,687
Extérieur	2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	A_Brique (extérieure)	22,461	
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	2,852	2,852
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	12	12
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	2,882	14,882
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,403	63,8
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,789	
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,917	
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	25,275	
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	11,722	
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	9,694	
Intérieur	1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	A_Carreux de PVC	4,478	
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 16 cm	A_Brique (intérieure)	2,66	2,66
Intérieur	1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	A_Tasseaux bois+air(d=13cm)	3,244	3,244
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,2	33,112
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,428	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	7,966	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,16	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,585	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,773	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,384	
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,307	2,307
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	1,136	3,437
Intérieur	1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	A_Panneau de gypse	2,301	
Intérieur	1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	A_Brique (intérieure)	2,339	2,339
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,934	1,934
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,842	3,644
Intérieur	1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	A_Tasseaux bois+laine de verre	1,802	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	3,722	34,538
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	21,418	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	5,15	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	1,843	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,405	
Extérieur	1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	A_Brique (extérieure)	2,405	

Extérieur	1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	A_Grès (extérieur)	4,041	4,041
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	8,805	13,742
Extérieur	1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	A_Brique (extérieure)	4,937	
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Grès (extérieur)	18,473	33,399
Soutènement	1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	A_Grès (extérieur)	14,926	

#### Annexe 17 - Nomenclature intermédiaire des murs du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE MURS MODÈLE MONOCOUCHE			
Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,293	1,53	0,65
1900 - Finition intérieure - Laine de verre entre tasseaux+plâtre SDB - 6+1,2 cm	1,2414		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	0,98	1,02
1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,293		
1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	0,6682		
1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,293	0,96	1,04
1900 - Finition intérieure - PSE entre tasseaux+plâtre - 4+1,2 cm	0,6682		
1900 - Mur loggia - Béton armé - 24 cm	0,1091	0,13	7,56
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1980 - Parement extérieur - Brique peinte - 9 cm	0,0694	0,39	2,58
1980 - Lame d'air non ventilée - 4 cm	0,1802		
1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	0,1147		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
2007 - Enduit extérieur - Crépi - 3 cm	0,02	1,90	0,53
2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	1,7143		
2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	0,1471		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
2007 - Parement extérieur - Brique - 9 cm	0,0694	1,95	0,51
2007 - Isolant - Laine de verre - 6 cm	1,7143		
2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	0,1471		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Soutènement - Grès - 55 cm	0,173	0,20	5,10
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,39	2,60
1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	0,3081		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,28	3,63
1900 - Cloison - Ossature bois - 6 cm	0,1982		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,36	2,80
1900 - Porteur intérieur - Brique - 22 cm	0,3081		
1900/2007 - Finition intérieure - Carrelage - 1,2 cm	0,01		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	0,23	4,26

1900 - Cloison - Ossature bois - 8 cm	0,2014		
1900/2007 - Finition intérieure - Carrelage - 1,2 cm	0,01		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	0,5322	0,58	1,73
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900/2007 - Finition intérieure - Carrelage - 1,2 cm	0,01		
1900 - Porteur intérieur - Brique - 38 cm	0,5322	0,57	1,77
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
2007 - Soutènement - Blocs de béton lourd - 39 cm	0,2645		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	0,29	3,48
1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	0,1415		
1900 - Finition intérieure - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,18	5,56
1900 - Porteur extérieur - Grès - 45 cm	0,1415		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	0,16	6,08
1900/2007 - Finition intérieure - Bois peint - 1,5+0,5 cm	0,1596		
1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	1,2183	1,54	0,65
1900/2007 - Finition intérieure - Bois peint - 1,5+0,5 cm	0,1596		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
2007 - Porteur - Blocs de béton - 19 cm	0,1471	0,19	5,17
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Porteur intérieur - Grès - 60 cm	0,1943	0,24	4,16
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288		
1900 - Cloison - Brique - 13 cm	0,1821	0,24	4,17
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288		
1900 - Cloison - Ossature bois - 13 cm	0,2052	0,26	3,81
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288		
1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	0,1923	0,19	5,20
1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	0,0526	0,05	19,01
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5 cm	0,0288		
1980/2007 - Porteur - Blocs de béton - 14 cm	0,1147	0,17	5,80
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5 cm	0,0288		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Cloison isolée - Ossature bois - 6 cm	1,2183	1,26	0,79
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		
1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,293		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	0,32	3,16
1900 - Porteur extérieur - Brique - 38 cm	0,293		
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,5cm	0,0288	0,32	3,11

Annexe 18 - Nomenclature intermédiaire des murs du modèle multicouche

NOMENCLATURE DE MURS MODÈLES MULTICOUCHE		
Type	R <sub>T</sub> [m²K/W]	U [W/m²K]
1900 - Mur extérieur en brique - 39,2 cm	0,3161	3,1639
1900 - Mur extérieur en brique - 39,5 cm	0,3218	3,1072
1900 - Mur extérieur en brique isolant laine de verre - 45,2 cm	1,5343	0,6517
1900 - Mur extérieur en grès - 46,5 cm	0,1704	5,8701
1900 - Mur extérieur isolé en brique - 43,2 cm	0,9612	1,0403
1900 - Mur loggia -25,2 cm	0,1322	7,5661
1900/2007 - Finition intérieure - Plâtre - 1,2 cm	0,0231	43,3333
1980 - Mur extérieur (Parement) - 28,2 cm	0,3874	2,5814
2007 - Mur extérieur (Enduit) -29,2 cm	1,9045	0,5251
2007 - Mur extérieur (Parement) -35,2 cm	1,9539	0,5118
1900 - Cloison - Carreaux de plâtre - 10 cm	0,1923	5,2
1900 - Cloison - Plastique - 1 cm	0,0526	19
1900 - Cloison - Plâtre+brique+plâtre - 1,2+9+1,2 cm	0,1722	5,8071
1900 - Cloison en brique - 15,4 cm	0,2282	4,3816
1900 - Cloison en brique - 16 cm	0,2398	4,1707
1900 - Cloison en ossature bois - 21,2 cm	0,2555	3,9142
1900 - Cloison isolée ossature bois - 8,4 cm	1,2644	0,7909
1900 - Cloison isolée ossature bois - 10 cm	1,5375	0,6504
1900 - Cloison ossature bois - 10 cm	0,2751	3,6354
1900 - Cloison ossature bois - 11,2 cm	0,2498	4,0029
1900 - Cloison ossature bois - 16 cm	0,2629	3,8032
1900 - Mur intérieur en brique - 40,4 cm	0,5784	1,729
1900 - Porteur intérieur - Plâtre+brique+plâtre - 2+22+2 cm	0,385	2,5971
1900 - Porteur intérieur en brique - 25,2 cm	0,3566	2,8044
1900 - Porteur intérieur en grès - 57,4 cm	0,2243	4,4591
1900 - Porteur intérieur en grès - 62,4 cm	0,2405	4,1588
2007 - Cloison - Blocs de béton+plâtre - 15,2 cm	0,1378	7,2558
2007 - Cloison - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,5+14+1,5 cm	0,1724	5,7992
2007 - Porteur intérieur - Plâtre+blocs de béton+plâtre - 1,2+19+1,2 cm	0,1933	5,1741
1900 - Soutènement en grès - 56,2 cm	0,196	5,1012
2007 - Soutènement - 40,2 cm	0,2876	3,4776

Annexe 19 - Nomenclature intermédiaire des fenêtres

NOMENCLATURE DE FENÊTRES DES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE							
Niveau	Famille	Type	H [cm]	L [cm]	Surface [m²]	R [m²K/W]	U [W/m²K]
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Fenêtre d'angle	Châssis PVC - 1060mmx2100mm/720mmx2100mm			3,74	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 1200mmx1160mm	120	116	1,39	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
-01A - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 2650mmx1140mm	114	265	3,02	0,3196	3,1292
-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 1220mmx1140mm	114	122	1,39	0,3196	3,1292

-01B - Rez-de-jardin	1980 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 1220mmx1140mm	114	122	1,39	0,3196	3,1292
-01C - Rez-de-jardin	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1840mmx2190mm	219	184	4,03	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 850mmx1800mm	180	85	1,53	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre fixe	Châssis bois - 850mmx1800mm	180	85	1,53	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre voûtée deux vantaux	Châssis bois - 1540mmx1790mm	179	154	2,76	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Porte-fenêtre deux vantaux avec imposte	Châssis bois - 1450mmx2575mm	258	145	3,73	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,40	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,40	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre fixe	Châssis PVC - 250mmx2550mm	255	25	0,64	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre trois vantaux	Châssis PVC - 2700mmx2100mm	210	270	5,67	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 1200mmx1160mm	120	116	1,39	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Brique	Châssis PVC - 900mmx1550mm	155	90	1,40	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Fenêtre un vantail - Crépi	Châssis PVC - 900mmx1155mm	116	90	1,04	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	2007 - Porte-fenêtre deux vantaux	Châssis PVC - 1460mmx2100mm	210	146	3,07	0,3196	3,1292
Corniche 2007	Fenêtre de toit	2007 - Châssis bois - 1110mmx1110mm	111	111	1,23	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée deux vantaux	Châssis PVC - 1540mmx1790mm	179	154	2,76	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée un vantail	Châssis bois - 670mmx1410mm	141	67	0,95	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre voûtée un vantail	Châssis PVC - 920mmx1710mm	171	92	1,57	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Porte-fenêtre deux vantaux avec imposte voûtée	Châssis bois - 1720mmx2480 mm	248	172	4,27	0,3196	3,1292
02- R+2	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 590mmx990mm	99	59	0,58	0,3196	3,1292
02- R+2	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis bois - 590mmx1010mm	101	59	0,60	0,3196	3,1292
Corniche 1900	Fenêtre de toit	1900 - Châssis bois - 1340mmx810mm	81	134	1,09	0,3196	3,1292
Corniche 1900	Fenêtre de toit	1900 - Châssis bois - 430mmx530mm	53	43	0,28	0,3196	3,1292
00 - Rez-de-chaussée	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 620mmx780mm	78	62	0,48	0,3196	3,1292
01B - R+1	1900 - Fenêtre un vantail	Châssis PVC - 620mmx780mm	78	62	0,48	0,3196	3,1292

## Annexe 20 - Nomenclature intermédiaire des portes

NOMENCLATURE DE PORTES DES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE								
Niveau	Fonction	Famille	Type	H [cm]	L [cm]	Surface [m²]	R [m²K/W]	U [W/m²K]
-01A - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre PVC - 700mmx1980mm	208	80	1,664	0,3374	2,9639
-01A - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,913	0,3911	2,5572
-01B - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre bois - 850mmx1980mm	208	95	1,976	0,3196	3,1286
-01B - Rez-de-jardin	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,913	0,3911	2,5572
00 - Rez-de-chaussée	Extérieur	Porte d'entrée vitrée	Cadre PVC - 1000mmx2500mm	260	110	2,86	0,3374	2,9639
00 - Rez-de-chaussée	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 800 x 2100mm	213	85	1,806	0,3911	2,5572
01B - R+1	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 800 x 2100mm	213	85	1,806	0,3911	2,5572
02- R+2	Intérieur	Double porte	1530 x 2157 mm	216	153	3,3	0,6073	1,6466
02- R+2	Intérieur	Porte intérieure	Cadre bois - 850 x 2100mm	213	90	1,913	0,3911	2,5572
-01B - Rez-de-jardin	Extérieur	Porte extérieure vitrée	Cadre PVC - 850mmx1980mm	208	95	1,976	0,3374	2,9639
00 - Rez-de-chaussée	Extérieur	Porte d'entrée vitrée	Cadre PVC - 900mmx2500mm	253	96	2,429	0,3374	2,9639

## Annexe 21 - Nomenclature des surfaces de planchers

NOMENCLATURE DE SURFACES DES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE		
Niveau	Nom	Surface [m <sup>2</sup> ]
-01A - Rez-de-jardin	Appart. 1 Sect. én. 1A	53,186
-01A - Rez-de-jardin	Appart. 1 Sect. én. 1B	8,411
-01A - Rez-de-jardin	Appart. 2 Sect. én. 2A	37,751
-01A - Rez-de-jardin	Appart. 2 Sect. én. 2A	12,306
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 2 Sect. én. 2A	14,718
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 2 Sect. én. 2A	11,719
-01A - Rez-de-jardin	Appart. 2 Sect. én. 2B	4,505
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	4,505
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	20,41
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	2,485
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	53,815
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	0,836
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	8,411
00 - Rez-de-chaussée	Appart. 3 Sect. én. 3	15,679
01B - R+1	Appart. 3 Sect. én. 3	2,485
01B - R+1	Appart. 4 Sect. én. 4	41,978
01B - R+1	Appart. 4 Sect. én. 4	9,465
02- R+2	Appart. 4 Sect. én. 4	1,011
02- R+2	Appart. 5 Sect. én. 5A	48,943
02- R+2	Appart. 5 Sect. én. 5B	1,24
02- R+2	Appart. 5 Sect. én. 5B	1,491
-01A - Rez-de-jardin	Communs	32,357

## Annexe 22 - Nomenclature intermédiaire des planchers/plafonds du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE PLANCHERS/PLAFONDS MODÈLE MONOCOUCHE			
Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1900 - Dalle sur sol - Brique - 30 cm	0,2313	0,25	3,99
1900/2007 - Couche de finition - Carrelage contemporain sur mortier - 1+1 cm	0,0191		
2007- Dalle sur sol - 15 cm	0,0682	0,71	1,40
2007 - Couche de finition dalle de sol - PSE+béton+carrelage - 3+6+1 cm	0,6436		
1900/2007 - Plafond - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,22	4,51
2007 - Plancher hourdis - 13+5 cm	0,1396		
2007 - Couche de finition - Béton+carrelage - 6+1cm	0,0436		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	0,42	2,41
1900 - Plancher solives - 17,5 cm	0,1844		
1900 - Couche de finition - Chêne - 2 cm	0,1538		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	0,50	1,98
1900 - Plancher solives - 17,5 cm	0,1844		
1900 - Couche de finition - Moquette sur support - 1+1 cm	0,2436		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	1,41	0,71
1900 - Laine de verre entre solives 63mmx175mm - 12 cm	1,0938		

1900 - Couche de finition - Moquette sur support - 1+1 cm	0,2436		
2007 - Retour revêtement extérieur - Crépi - 3cm	0,02	1,92	0,52
2007 - Retour d'isolant - Laine de verre - 6 cm	1,7143		
2007 - Plancher hourdis - 13+5 cm	0,1396		
2007 - Couche de finition - Béton+carrelage - 6+1 cm	0,0436		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	0,45	2,20
1900 - Dalle loggia - Béton armé - 15 cm	0,0882		
1980 - Couche de finition intérieure - Bois sur lambourdes - 3+2 cm	0,289		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	0,20	4,99
1900 - Dalle loggia - Béton armé - 15 cm	0,0882		
1900 - Béton de pente terrasse	0,0353		
1900/2007 - Plafond - Plâtre - 2 cm	0,0385	0,78	1,29
2007 - Plancher hourdis - 13+5 cm	0,1396		
2007 - Couche de finition terrasse - PSE+lambourdes+bois - 3+3+1 cm	0,6		
1900 - Faux-plafond - Lattage bois+plâtre - 2,5 cm	0,0769	0,17	6,06
1900 - Dalle loggia - Béton armé - 15 cm	0,0882		
1980 - Couche de finition terrasse - Bois sur lambourdes - 3+2 cm	0		

#### Annexe 23 - Nomenclature intermédiaire des planchers/plafonds du modèle multicouche

NOMENCLATURE DE PLANCHERS/PLAFONDS MODÈLE MULTICOUCHE		
Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1900 - Dalle sur sol - 32 cm	0,2504	3,9938
1900 - Plancher solives isolé - 22 cm	1,4143	0,7071
1900 - Plancher solives finition moquette - 22 cm	0,5049	1,9805
1900 - Plancher solives finition chêne - 22 cm	0,4152	2,4086
1900 - Terrasse loggia - 23,5 cm	0,2005	4,9887
1900 - Voussettes - 29 cm	0,6397	1,5633
1980 - Plancher loggia - 22,5 cm	0,4541	2,202
1980 - Terrasse - 22,5 cm	0,1652	6,0548
2007 - Plancher hourdis - 27 cm	0,2217	4,5112
2007 - Terrasse - 27 cm	0,778	1,2853
2007- Dalle sur sol - 25 cm	0,7118	1,4049
2007- Retour d'enduit - 34 cm	1,9175	0,5215

#### Annexe 24 - Nomenclature intermédiaire des toitures du modèle monocouche

NOMENCLATURE DE TOITS MODÈLE MONOCOUCHE			
Type	R [m <sup>2</sup> K/W]	R <sub>T</sub> [m <sup>2</sup> K/W]	U [W/m <sup>2</sup> K]
1900/2007 - Revêtement toiture - Tuiles+lattage+contre-lattage - 6+3 cm	0	0,77	
1900 - PSE entre chevrons 63mmx75mm - 4 cm	0,6944		1,44
1900 - Plafonnage toiture - Lattage+plâtre - 2,5 cm	0,0769		13
1900/2007 - Revêtement toiture - Tuiles+lattage+contre-lattage - 6+3 cm	0	2,90	
2007 - Pannes+chevrons - 12+6 cm	2,8741		0,3479
2007 - Plafonnage toiture - Plâtre - 1,2 cm	0,0231		43,3333

Annexe 25 - Nomenclature des surfaces de planchers chauffés

NOMENCLATURE DES SURFACES DE PLANCHERS CHAUFFÉS DES MODÈLES MONOCOUCHE ET MULTICOUCHE		
	Nom	Surface [m <sup>2</sup> ]
Appartement 1	Ach 1	61,72
Appartement 2	Ach 2	54,53
Appartement 3	Ach 3	106,02
Appartement 4	Ach 4	51,18
Appartement 5	Ach 5	37,59

Annexe 26 - Nomenclature des surfaces analytiques du modèle monocouche

NOMENCLATURE DES SURFACES ANALYTIQUES MODÈLE MONOCOUCHE			
Surface [m <sup>2</sup> ]	Type d'ouverture	Type de surface	Surface totale [m <sup>2</sup> ]
7,61		Mur extérieur	7,61
19,32		Mur extérieur	19,32
7,74		Mur extérieur	20,572
6,79		Mur extérieur	
2,53		Mur extérieur	
0,44		Mur extérieur	
2,38		Mur extérieur	
0,692		Mur extérieur	
5,8		Mur extérieur	
3,06	Fenêtre fonctionnelle		3,06
3,06	Fenêtre fonctionnelle		3,06
1,6	Fenêtre fonctionnelle		3,92
2,32	Fenêtre fonctionnelle		
1,66	Porte non coulissante		1,66
1,91	Porte non coulissante		1,91
5,72		Mur intérieur	13,33
7,61		Mur intérieur	
6,08		Mur intérieur	6,08
3,78		Mur intérieur	3,78
7,91		Mur intérieur	7,91
6,49		Mur intérieur	6,49
45,65		Sol enterré	45,65
7,85		Sol enterré	7,85
48,41		Sol intérieur	48,41
6,82		Sol intérieur	6,82
2,49		Mur extérieur	2,49
4,4		Mur extérieur	14,59
10,19		Mur extérieur	
1		Mur extérieur	14,53
2,42		Mur extérieur	
5,1		Mur extérieur	
2,47		Mur extérieur	
3,54		Mur extérieur	
32,73		Dallage	32,73

3,02		Dallage	3,02
10,84		Dallage	10,84
11,04		Sol surélevé	11,04
12,54		Sol surélevé	12,54
4,11		Mur intérieur	4,11
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
4,03	Fenêtre fonctionnelle		4,03
3,02	Fenêtre fonctionnelle		3,02
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,98	Porte non coulissante		1,98
1,91	Porte non coulissante		1,91
4,13		Mur intérieur	4,13
3,81		Mur intérieur	3,81
4,21		Mur intérieur	4,21
4,17		Mur intérieur	9,8
2,01		Mur intérieur	
1,47		Mur intérieur	
0,5		Mur intérieur	
1,65		Mur intérieur	
2,76		Mur intérieur	2,76
3,1		Sol intérieur	3,1
14,67		Sol intérieur	14,67
2,7		Sol intérieur	2,7
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,077	Fenêtre fonctionnelle		0,67
3,9	Fenêtre fonctionnelle		3,9
1,347	Fenêtre fonctionnelle		0,81
5,5	Fenêtre fonctionnelle		5,5
2,77	Fenêtre fonctionnelle		2,77
2,53		Mur extérieur	2,53
21,63		Mur extérieur	28,72
7,09		Mur extérieur	
0,42		Mur extérieur	2,171
0,66		Mur extérieur	
0,5		Mur extérieur	
10,46		Mur extérieur	14,91
4,45		Mur extérieur	
2,82		Mur extérieur	36,23
4,89		Mur extérieur	
13,28		Mur extérieur	
12,15		Mur extérieur	
2,95		Mur extérieur	
0,14		Mur extérieur	
2,69		Sol surélevé	2,69
33,11		Toit	70,83

37,72		Toit	
0,64	Fenêtre fonctionnelle		3,06
2,42	Porte non coulissante		
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,39	Fenêtre fonctionnelle		1,39
1,04	Fenêtre fonctionnelle		1,04
3,06	Fenêtre fonctionnelle		3,06
1,04	Lucarne mobile		1,04
0,87		Plafond	0,87
2,92		Mur intérieur	15,74
12,82		Mur intérieur	
2,35		Mur intérieur	2,35
1,81	Porte non coulissante		1,81
6,78		Mur intérieur	6,78
15,57		Sol intérieur	34,46
18,89		Sol intérieur	
12,45		Mur extérieur	53,24
3,68		Mur extérieur	
10,2		Mur extérieur	
14,53		Mur extérieur	
8,97		Mur extérieur	
3,41		Mur extérieur	
2,77	Fenêtre fonctionnelle		2,77
1,67	Fenêtre fonctionnelle		1,67
4,37	Fenêtre fonctionnelle		4,37
1,01	Fenêtre fonctionnelle		1,01
0,68		Sol intérieur	0,68
5,33		Mur intérieur	5,33
2,38		Mur intérieur	2,38
2,63		Mur intérieur	2,63
1,22		Sol intérieur	1,22
20,96		Sol intérieur	36,41
15,45		Sol intérieur	
2,26		Mur extérieur	37,08
6,15		Mur extérieur	
8,78		Mur extérieur	
9,35		Mur extérieur	
9,12		Mur extérieur	
1,42		Mur extérieur	
5,94		Mur extérieur	5,94
13,79		Toit	51,91
26,4		Toit	
8,23		Toit	
3,49		Toit	
0,57		Toit	2,68
2,11		Toit	
3,15		Mur intérieur	3,15

0,68	Fenêtre fonctionnelle		0,68
0,67	Fenêtre fonctionnelle		0,67
0,23	Air		0,23
1,18	Air		1,18
1,17		Mur intérieur	3,82
2,65		Mur intérieur	
1,85		Mur intérieur	4,23
2,38		Mur intérieur	
2,96		Mur intérieur	2,96
2,15		Mur intérieur	2,15
2,47		Mur extérieur	2,47
18,79		Mur extérieur	27,64
2,98		Mur extérieur	
1,73		Mur extérieur	
1,93		Mur extérieur	
2,21		Mur extérieur	
7,37		Mur extérieur	11,66
4,29		Mur extérieur	
17,47		Mur extérieur	33,71
16,24		Mur extérieur	
4,04		Toit	4,52
0,48		Toit	
19,9		Dallage	19,9
0,56	Fenêtre fonctionnelle		0,56
0,44	Fenêtre fonctionnelle		0,44
2,68	Porte non coulissante		2,68
1,98	Porte non coulissante		1,98
10,24		Sol intérieur	10,24
8,32		Sol intérieur	8,32
1,81	Porte non coulissante		1,81
3,22	Porte non coulissante		3,22
1,91	Porte non coulissante		1,91
0,94		Sol intérieur	0,94

#### Annexe 27 - Nomenclature des surfaces analytiques du modèle multicouche

NOMENCLATURE DES SURFACES ANALYTIQUES MODÈLE MULTICOUCHE			
Surface [m²]	Type d'ouverture	Type de surface	Surface totale [m²]
7,535		Mur extérieur	13,157
5,622		Mur intérieur	
18,752		Mur extérieur	18,752
1,327		Mur extérieur	20,714
2,744		Mur extérieur	
2,293		Mur extérieur	
5,941		Mur extérieur	
7,299		Mur extérieur	
1,11		Mur extérieur	5,617
5,617		Mur extérieur	

40,476		Dallage	40,476
7,846		Dallage	7,846
1,412	Fenêtre fonctionnelle		1,412
3,066	Fenêtre fonctionnelle		3,066
3,066	Fenêtre fonctionnelle		3,066
1,482	Fenêtre fonctionnelle		2,57
1,088	Fenêtre fonctionnelle		
1,664	Porte non coulissante		1,664
1,913	Porte non coulissante		1,913
7,535		Mur intérieur	7,535
1,567		Sol intérieur	40,548
38,981		Sol intérieur	
1,031		Sol intérieur	
6,815		Sol intérieur	7,846
3,783		Mur intérieur	3,783
6,476		Mur intérieur	6,476
7,292		Mur intérieur	7,292
6,079		Mur intérieur	6,079
2,336		Mur extérieur	2,336
2,988		Mur extérieur	2,988
3,212		Mur extérieur	12,582
9,37		Mur extérieur	
3,262		Mur extérieur	13,131
2,460		Mur extérieur	
4,794		Mur extérieur	
1,618		Mur extérieur	
0,997		Mur extérieur	
31,055		Dallage	31,055
2,345		Dallage	2,345
11		Dallage	11
11,298		Sol surélevé	11,298
8,928		Sol surélevé	8,928
4,03	Fenêtre fonctionnelle		4,03
1,48	Fenêtre fonctionnelle		1,48
3,146	Fenêtre fonctionnelle		3,146
1,48	Fenêtre fonctionnelle		1,48
1,524	Porte non coulissante		1,976
1,913	Porte non coulissante		1,913
4,068		Mur intérieur	4,068
4,085		Mur intérieur	4,085
3,816		Mur intérieur	3,816
4,206		Mur intérieur	4,206
4,164		Mur intérieur	9,813
1,658		Mur intérieur	
2,025		Mur intérieur	
1,466		Mur intérieur	
0,5		Mur intérieur	

2,716		Mur intérieur	2,716
14,725		Sol intérieur	14,725
2,408		Sol intérieur	2,408
2,605		Sol intérieur	2,605
0,674		Mur extérieur	32,35
25,277		Mur extérieur	
6,399		Mur extérieur	
15,212		Mur extérieur	39,158
3,036		Mur extérieur	
11,537		Mur extérieur	
3,802		Mur extérieur	
5,571		Mur extérieur	
10,36		Mur extérieur	14,119
3,759		Mur extérieur	
2,492		Mur extérieur	2,492
0,822		Mur extérieur	2,214
0,448		Mur extérieur	
0,944		Mur extérieur	
2,648		Sol surélevé	2,648
1,482	Fenêtre fonctionnelle		1,482
3,529	Fenêtre fonctionnelle		3,529
1,321	Fenêtre fonctionnelle		1,321
5,844	Fenêtre fonctionnelle		5,844
2,767	Fenêtre fonctionnelle		2,767
1,496	Fenêtre fonctionnelle		1,496
0,773	Fenêtre fonctionnelle		3,202
2,429	Porte non coulissante		
1,496	Fenêtre fonctionnelle		1,496
1,496	Fenêtre fonctionnelle		1,496
1,145	Fenêtre fonctionnelle		1,145
3,066	Fenêtre fonctionnelle		3,066
1,024	Fenêtre fonctionnelle		1,024
1,043	Lucarne mobile		1,043
30,547		Toit	62,33
31,783		Toit	
1,134		Plafond	1,134
2,882		Mur intérieur	15,901
13,019		Mur intérieur	
2,436		Mur intérieur	2,436
1,806	Porte non coulissante		1,806
18,753		Sol intérieur	34,32
15,567		Sol intérieur	
4,312		Mur intérieur	4,312
12,354		Mur extérieur	52,56
8,813		Mur extérieur	
10,122		Mur extérieur	
3,605		Mur extérieur	

3,341		Mur extérieur	
14,325		Mur extérieur	
2,767	Fenêtre fonctionnelle		2,767
1,668	Fenêtre fonctionnelle		1,668
1,01	Fenêtre fonctionnelle		1,01
4,366	Fenêtre fonctionnelle		4,366
5,711		Mur intérieur	5,711
2,217		Mur intérieur	2,217
2,632		Mur intérieur	2,632
6,077		Sol intérieur	6,077
1,032		Sol intérieur	1,032
1,806	Porte non coulissante		1,806
2,015		Mur extérieur	33,313
9,012		Mur extérieur	
1,538		Mur extérieur	
6,858		Mur extérieur	
9,211		Mur extérieur	
5,855		Mur extérieur	
4,679		Mur extérieur	
3,002		Mur intérieur	3,002
0,678	Fenêtre fonctionnelle		0,678
0,666	Fenêtre fonctionnelle		0,666
0,15	Lucarne mobile		0,15
0,902	Lucarne mobile		0,902
4,663		Toit	52,36
8,478		Toit	
26,371		Toit	
9,522		Toit	
3,326		Toit	
0,479		Toit	4,662
4,183		Toit	2,592
0,551		Toit	
2,041		Toit	
0,678		Mur intérieur	2,094
1,416		Mur intérieur	
2,555		Mur intérieur	4,813
2,258		Mur intérieur	
2,063		Mur intérieur	2,063
1,472		Mur intérieur	1,472
1,845	Porte non coulissante		1,845
3,3	Porte non coulissante		3,3
0,898		Sol intérieur	0,898
20,827		Sol intérieur	36,339
15,512		Sol intérieur	
1,188		Sol intérieur	1,188
10,339		Sol intérieur	10,339
7,962		Mur extérieur	12,252

4,29		Mur extérieur	
1,91		Mur extérieur	27,353
1,984		Mur extérieur	
1,725		Mur extérieur	
18,747		Mur extérieur	
2,987		Mur extérieur	
17,291		Mur extérieur	33,462
16,171		Mur extérieur	
2,441		Mur extérieur	2,441
24,376		Dallage	24,376
2,683	Porte non coulissante		2,683
1,976	Porte non coulissante		1,976
0,556	Fenêtre fonctionnelle		0,556
0,435	Fenêtre fonctionnelle		0,435

#### Annexe 28 - Nomenclature des espaces analytiques des modèles monocouche et multicouche

NOMENCLATURE DES ESPACES ANALYTIQUES MODÈLE MONOCOUCHE	
Nom	Volume [m <sup>3</sup> ]
Communs	105,98
Secteur énergétique 1A	110,25
Secteur énergétique 1B	16,46
Secteur énergétique 2A	95,22
Secteur énergétique 2B	6,81
Secteur énergétique 3	303,12
Secteur énergétique 4	112,63
Secteur énergétique 5A	77,66
Secteur énergétique 5B	4,47
NOMENCLATURE DES ESPACES ANALYTIQUES MODÈLE MULTICOUCHE	
Nom	Volume [m <sup>3</sup> ]
Communs	107,95
Secteur énergétique 1A	122,18
Secteur énergétique 1B	16,98
Secteur énergétique 2A	106,81
Secteur énergétique 2B	8,08
Secteur énergétique 3	330,84
Secteur énergétique 4	114,71
Secteur énergétique 5A	84,72
Secteur énergétique 5B	4,72

NOMENCLATURE DES ESPACES								
Zone HVAC	Nom	Surface [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Condition	Nombre de personnes	Gain de chaleur latente/pers. [W]	Gain de chaleur sensible/pers. [W]	Habitable
Secteur énergétique 1A	Chambre	10,39	25,13	Chauffé	0,23	59	73	Oui
Secteur énergétique 1A	Cuisine	7,72	18,67	Chauffé	0,17	59	73	Oui
Secteur énergétique 1A	Toilettes	1,47	3,55	Chauffé	0,03	59	73	Non
Secteur énergétique 1A	Hall d'entrée	8,31	20,64	Chauffé	0,18	59	73	Non
Secteur énergétique 1A	Séjour	13,76	33,29	Chauffé	0,30	59	73	Oui
Secteur énergétique 1B	Salle-de-bain	6,04	14,69	Chauffé	0,13	59	73	Non
Secteur énergétique 2A	Séjour	15,56	36,88	Chauffé	0,35	59	73	Oui
Secteur énergétique 2A	Chambre	9,33	21,36	Chauffé	0,21	59	73	Oui
Secteur énergétique 2A	Cuisine	13,33	31,52	Chauffé	0,30	59	73	Oui
Secteur énergétique 2B	Salle-de-bain	3,3	7,81	Chauffé	0,07	59	73	Non
Secteur énergétique 3	Cuisine	15,56	57,31	Chauffé	0,35	59	73	Oui
Secteur énergétique 3	Chambre	15,95	63,24	Chauffé	0,35	59	73	Oui
Secteur énergétique 3	Salle-de-bain	7,02	18,17	Chauffé	0,16	59	73	Non
Secteur énergétique 3	Hall d'entrée	10,65	27,58	Chauffé	0,24	59	73	Non
Secteur énergétique 3	Toilettes	0,93	2,27	Chauffé	0,02	59	73	Non
Secteur énergétique 3	Salon	18,92	53	Chauffé	0,42	59	73	Oui
Secteur énergétique 3	Salle-à-manger	16,48	46,48	Chauffé	0,37	59	73	Oui
Secteur énergétique 3	Rangement	20,76	22,22	Chauffé	0,46	59	73	Oui
Secteur énergétique 4	Séjour	15,86	42,98	Chauffé	0,35	59	73	Oui
Secteur énergétique 4	Chambre	16,16	43,79	Chauffé	0,36	59	73	Oui
Secteur énergétique 4	Salle-de-bain	4,46	12,08	Chauffé	0,10	59	73	Non
Secteur énergétique 4	Sas	1,97	5,33	Chauffé	0,04	59	73	Non
Secteur énergétique 5A	Chambre	16,22	35,03	Chauffé	0,36	59	73	Oui
Secteur énergétique 5A	Séjour	16,63	38,16	Chauffé	0,37	59	73	Oui
Secteur énergétique 5A	Cuisine	5,18	10,09	Chauffé	0,11	59	73	Oui
Secteur énergétique 5B	Salle-de-bain	1,57	4,18	Chauffé	0,03	59	73	Non
Communs	Local technique	21,83	51,1	Chauffé	0,48	59	73	Non
Communs	Hall d'entrée	11,27	32,76	Chauffé	0,25	59	73	Non
Communs	Circulation R+2	4,39	8,75	Chauffé	0,10	59	73	Non
Communs	Circulation R+1	4,24	12,07	Chauffé	0,09	59	73	Non
<b>TOTAL</b>		<b>315,26</b>	<b>800,13</b>		<b>7,00</b>			

Annexe 30 - Nomenclature des zones HVAC

NOMENCLATURE DES ZONES HVAC			
Nom	Surface [m <sup>2</sup> ]	Volume [m <sup>3</sup> ]	Service
Communs	41,73	104,68	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 1A	41,64	101,29	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 1B	6,04	14,69	Chauffage à rayonnement - Sans carneau
Secteur énergétique 2A	38,21	89,75	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 2B	3,3	7,81	Chauffage à rayonnement - Sans carneau
Secteur énergétique 3	106,27	290,27	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 4	38,44	104,18	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 5A	38,03	83,28	Chauffage central : radiateurs
Secteur énergétique 5B	1,57	4,18	Chauffage à rayonnement - Sans carneau

Annexe 31 - Scénarios d'exploitation des équipements intérieurs

PLAGE HORAIRE	ECLAIRAGE	EQUIPSCHED – 6 SEMAINE	EQUIPSCHED – 6 SAMEDI	EQUIPSCHED – 6 DIMANCHE	EQUIPSCHED – 96 SEMAINE	EQUIPSCHED – 96 SAMEDI	EQUIPSCHED – 96 DIMANCHE
00:00	0,1	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
01:00	0,1	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
02:00	0,1	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
03:00	0,1	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
04:00	0,1	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
05:00	0,3	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125
06:00	0,45	0,31	0,31	0,31	0,65	0,65	0,65
07:00	0,45	0,3	0,31	0,31	0,65	0,65	0,65
08:00	0,45	0,9	0,3	0,31	0,563	0,563	0,563
09:00	0,45	0,9	0,3	0,31	0,4	0,55	0,55
10:00	0,3	0,9	0,3	0,31	0,4	0,55	0,55
11:00	0,3	0,9	0,3	0,31	0,4	0,55	0,55
12:00	0,3	0,8	0,15	0,31	0,4	0,55	0,55
13:00	0,3	0,9	0,15	0,31	0,4	0,55	0,55
14:00	0,3	0,9	0,15	0,31	0,4	0,55	0,55
15:00	0,3	0,9	0,15	0,31	0,4	0,55	0,55
16:00	0,3	0,9	0,15	0,31	0,4	0,55	0,55
17:00	0,3	0,5	0,31	0,31	0,4	0,55	0,55
18:00	0,6	0,3	0,31	0,31	0,4	0,55	0,55
19:00	0,8	0,3	0,31	0,31	0,5	0,5	0,5
20:00	0,9	0,2	0,31	0,31	0,46	0,46	0,46
21:00	0,8	0,2	0,31	0,31	0,46	0,46	0,46
22:00	0,6	0,31	0,31	0,31	0,275	0,275	0,275
23:00	0,3	0,31	0,31	0,31	0,125	0,125	0,125