



HAL
open science

Adaptation d'un bâtiment collectif béton en ossature-bois

Alex Solondrazana, Jean-Baptiste Simon

► **To cite this version:**

Alex Solondrazana, Jean-Baptiste Simon. Adaptation d'un bâtiment collectif béton en ossature-bois : conception, études thermique et mécanique. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2014. hal-02095688

HAL Id: hal-02095688

<https://hal.univ-lorraine.fr/hal-02095688>

Submitted on 10 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-memoires-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

**Rapport de PJT6
- Promotion 2014 -**

**Adaptation d'un bâtiment collectif béton en
ossature-bois : conception, études thermique et
mécanique**



**ÉCOLE
CENTRALE LYON**

**Jean-Baptiste SIMON – Alex SLONDRAZANA
2013 / 2014**

Enseignant responsable : M. Laurent BLERON

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS

Avant de débiter ce projet de fin d'étude, il nous paraissait important de préciser le contexte de son élaboration. En effet, au départ notre PFE portait sur la conception d'une cellule de survie pour les plans « grand froid », mais suite à une divergence concernant la communication avec le professeur référant, nous avons pris la décision avec Mme TROUY de changer de sujet en cours de route (fin Novembre).

Ce qui nous amène aux remerciements relatifs au projet.

Nous tenions à exprimer notre gratitude envers M Laurent BLERON qui nous a trouvé ce nouveau sujet mais aussi pour son aide tout au long de l'étude, également à M. Jean-François BOCQUET (notamment pour ses conseils sur les poutres en I) et M. Cyril THIRIET (pour son point de vue sur le chiffrage). Enfin nous désirons saluer la disponibilité de M. Antoine GRAPPERON (étudiant à Centrale Lyon, responsable du projet initial) pour la mise en place du projet.

Tous les fichiers cités dans le rapport seront disponibles pour les étudiants de *Centrale* dans une *Dropbox*.

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	4
- PARTIE 1 - CONCEPTION DU BATIMENT.....	5
1. LE CHOIX DE L'OSSATURE BOIS	5
1.1. <i>Qu'est-ce que l'ossature bois ?</i>	5
1.2. <i>Paramètres nécessaires à la construction en ossature bois</i>	6
1.3. <i>Paramètres relatifs à notre projet</i>	6
2. CONCEPTION	7
2.1. <i>Présentation du projet</i>	7
2.2. <i>Justification des paramètres du projet</i>	8
2.2.1. Section des pièces de l'ossature.....	8
2.2.2. L'entraxe entre montants.....	8
2.2.3. La hauteur de l'étage	9
2.2.4. L'épaisseur du panneau de contreventement	10
2.3. <i>Les parois</i>	10
2.3.1. Murs extérieurs.....	10
2.3.2. Murs de refend.....	11
2.3.3. Acrotères	12
2.3.4. Planchers intermédiaires	12
2.3.5. Toiture plate.....	14
2.4. <i>Liaisons entre parois</i>	14
2.4.1. Liaison mur/mur	14
2.4.2. Liaison mur/plancher intermédiaire	16
2.4.3. Liaison paroi/béton	17
2.5. <i>Points « sensibles » de la conception</i>	19
2.5.1. La cage d'escaliers	19
2.5.2. Intégration des menuiseries extérieures dans l'ossature.....	19
2.5.3. Intégration des balcons sur l'ouvrage	20
- PARTIE 2 - ETUDE MECANIQUE	22
1. ETUDES DES CHARGES CLIMATIQUES SUR LA STRUCTURE	22
1.1. <i>Descriptions de l'ouvrage et hypothèses</i>	22
1.2. <i>Etude de la neige</i>	22
1.2.1. S_n Action normale sur la toiture.....	22
1.2.2. S_x Action accidentelle sur la toiture	23
1.2.3. Répartition de la neige sur la toiture	23
1.3. <i>Etude du vent</i>	23
1.3.1. Détermination de la pression du vent en vitesse de pointe (calcul).....	23
1.3.2. Coefficients de pression intérieure.....	24
1.3.3. Force liée à l'effet d'entraînement.....	24
1.3.4. Récapitulatif des coefficients de pression de la construction (vent sur long pan)	25
1.3.5. Récapitulatif des coefficients de pression de la construction (vent sur pignon).....	25
1.4. <i>Quantification des efforts de vent sur la construction</i>	26
2. DESCENTE DE CHARGE VERTICALE	27
3. DIMENSIONNEMENT DU PLANCHER	28
3.1. <i>Présentation et hypothèses</i>	28
3.2. <i>Calcul des efforts</i>	29
3.2.1. Le poids propre g_k	29
3.2.2. La charge d'exploitation q_k	30
3.3. <i>Vérification à l'état limite ultime (ELU)</i>	30
3.4. <i>Vérification à l'état limite de service (ELS)</i>	32
3.5. <i>Conclusion et comparaison avec le logiciel du fabricant</i>	32
4. CALCUL DE CONTREVENTEMENT.....	33
4.1. <i>Présentation et hypothèses</i>	33
4.2. <i>Raideurs des panneaux et des murs et position du centre de raideur</i>	34
4.3. <i>Déplacement des systèmes de murs aux ELS</i>	34
4.4. <i>Résistance des pointes</i>	35
4.5. <i>Vérification du voile travaillant</i>	35

5. BILAN DE L'ETUDE MECANIQUE	36
- PARTIE 3 - ETUDE THERMIQUE	37
1. LA RT 2012.....	37
1.1. Description générale du programme	37
1.2. Application au projet	38
2. CONCEPTION THERMIQUE.....	38
2.1. Situation générale du bâtiment et hypothèses	38
2.2. Choix des matériaux	38
2.2.1. En général	38
2.2.2. Plus précisément	38
2.3. Conception des parois	40
2.4. Jonctions des parois et pont thermiques	42
2.4.1. Les ponts thermiques	42
2.4.2. Les jonctions.....	42
2.5. Choix des menuiseries	43
2.6. Scénarios.....	43
2.6.1. Ventilation	43
2.6.2. Occupation.....	43
2.6.3. Chauffage et rafraîchissement	44
2.6.4. Puissance dissipée et infiltrations	44
2.6.5. Occultation	44
3. RESULTATS	44
- PARTIE 4 - METRE ET ETUDE DE PRIX	45
1. HYPOTHESES	45
2. CALCUL SUR UN ETAGE	45
3. CALCUL SUR UN PLANCHER INTERMEDIAIRE	46
4. COUT TOTAL.....	48
CONCLUSION	49
BIBLIOGRAPHIE.....	50
RESUME	77
ABSTRACT.....	77
ANNEXES	51
ILLUSTRATION ORGANES DE FIXATIONS	51
PLANS 2D ET VUES 3D	53
CALCUL POUTRE EN I, ELU ET ELS	56
CALCUL DE CONTREVENTEMENT (POUR LE RDC).....	59
METRE ET ETUDE DE PRIX	68
Acrotère	68
Toiture	69
Plancher bas Béton	70
Balcon.....	71
COMPOSITION DES PAROIS ET DETAILS DE JONCTION	72

INTRODUCTION

L'année dernière (2012), un groupe d'étudiants de Centrale Lyon, a étudié, pour le compte de l'entreprise *Lafarge*, un bâtiment collectif en béton (du point de vue thermique et mécanique). Antoine GRAPPERON, au nom des 6 étudiants, a contacté l'ENSTIB pour faire étudier ce même édifice en bois. Nous avons choisi l'étude en ossature bois, un autre groupe la faisant en panneaux massifs contrecollés (CLT). Cette construction est située dans la banlieue de La Rochelle (en Charentes Maritimes), elle est de type R+3, ce qui en fait un immeuble assez conséquent

Les objectifs de ce projet sont multiples. Il faut tout d'abord repenser quasiment totalement la conception, en effet, les moyens mis en œuvre diffèrent pleinement (béton et ossature bois). De plus nous désirons, au niveau des performances thermiques, passer en réglementation thermique 2012 (RT 2012), l'étude précédente étant soumise à la RT 2005. Le but de ce projet est également de mesurer (au niveau quantitatif et monétaire) les matériaux utilisés.

Notre rapport s'articulera en quatre parties, nous débuterons en explicitant la conception du projet en ossature bois, pour ensuite se pencher sur le dimensionnement mécanique (aux Eurocodes) puis thermique et conclure par un métré des matériaux et une étude de prix.

- PARTIE 1 - CONCEPTION DU BATIMENT

1. LE CHOIX DE L'OSSATURE BOIS

1.1. Qu'est-ce que l'ossature bois ?

Le système constructif de l'ossature bois consiste à ériger une trame régulière et faiblement espacée (en général 40 ou 60 cm), de pièces verticales en bois, appelées montants, et de pièces horizontales hautes, basses et médianes, les lisses et les entretoises (médianes).

Sur cette ossature, supportant planchers et toiture, est fixé un voile travaillant en panneau dérivé du bois (panneau de particules, de contreplaqué ou d'OSB) qui assure la fonction de contreventement.

L'illustration légendée suivante présente un mur classique en ossature bois.

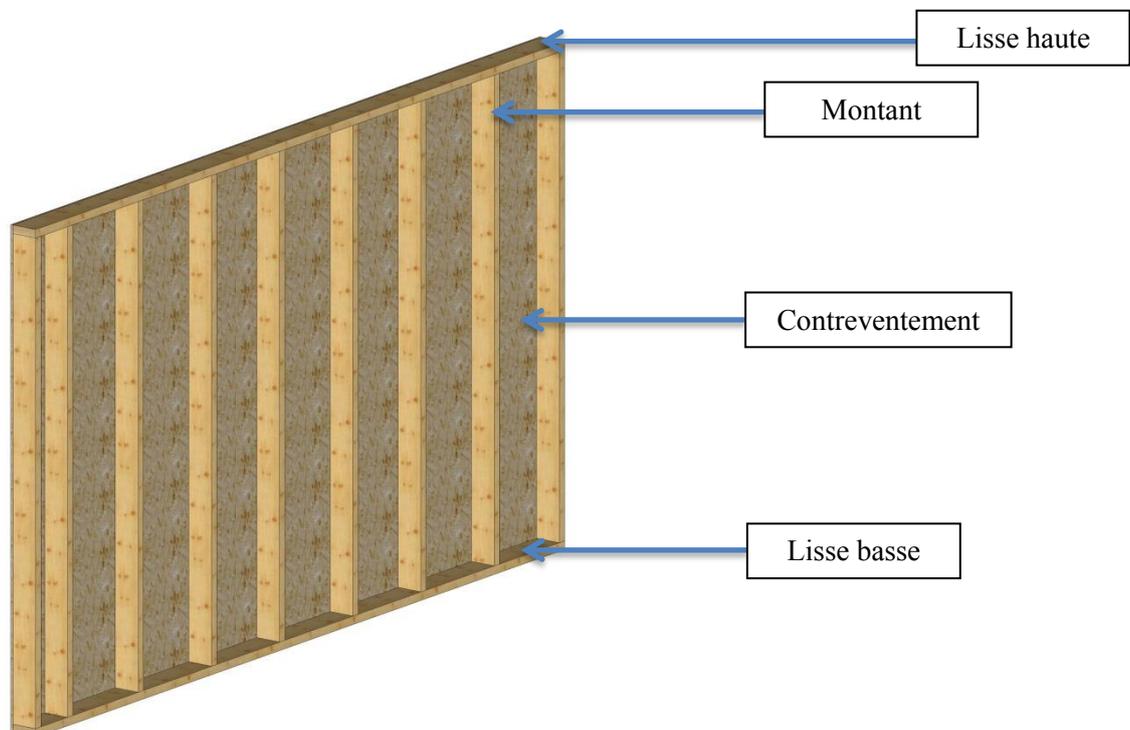


Figure 1 : Mur "classique" ossature bois

A noter que l'ensemble des illustrations relative à la conception sont prises depuis le logiciel de CAO *CadWork*, le fichier (représentant l'immeuble complet) est disponible dans la *Dropbox* qui accompagne ce rapport.

1.2. Paramètres nécessaires à la construction en ossature bois

Pour définir un mur ossature bois et plus généralement un bâtiment (les murs sont souvent identiques) on définit quelques paramètres :

- La section des pièces de bois
- L'entraxe entre les montants
- L'épaisseur du panneau de contreventement
- La hauteur d'un étage

Avec ces différentes caractéristiques, nous pouvons définir une construction à ossature bois.

1.3. Paramètres relatifs à notre projet

Pour notre projet, nous avons choisi les paramètres suivants (ils seront justifiés par la suite) :

- Les pièces de bois de l'ossature auront pour section (rabotée) : $S = 45 \times 145 \text{ mm}^2$
- Les montants seront espacés de $e = 600 \text{ mm}$
- Les panneaux de contreventement auront pour épaisseurs $e_p = 12 \text{ mm}$
- Les étages auront pour hauteur $h_p = 3000 \text{ mm}$

Une fois ces paramètres établis, nous allons à la présentation du bâtiment.

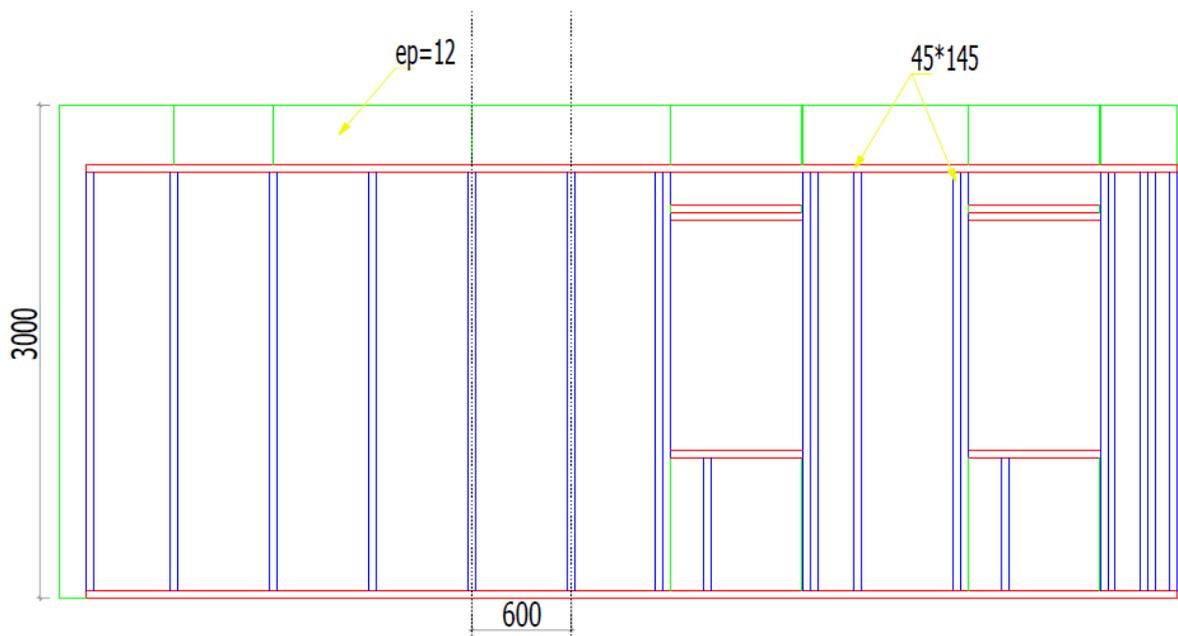


Figure 2 : Mur représentant les paramètres cotés

2. CONCEPTION

2.1. Présentation du projet

Comme expliqué auparavant, notre projet est un bâtiment à logement collectif R+3.



Figure 3 : Vue 3D du bâtiment (tirée du rapport de Centrale Lyon)

Sur la vue 3D (*Figure 3*), on remarque la simplicité de la structure. En effet, la forme globale reste simple (parallélépipédique) et la toiture est plate.

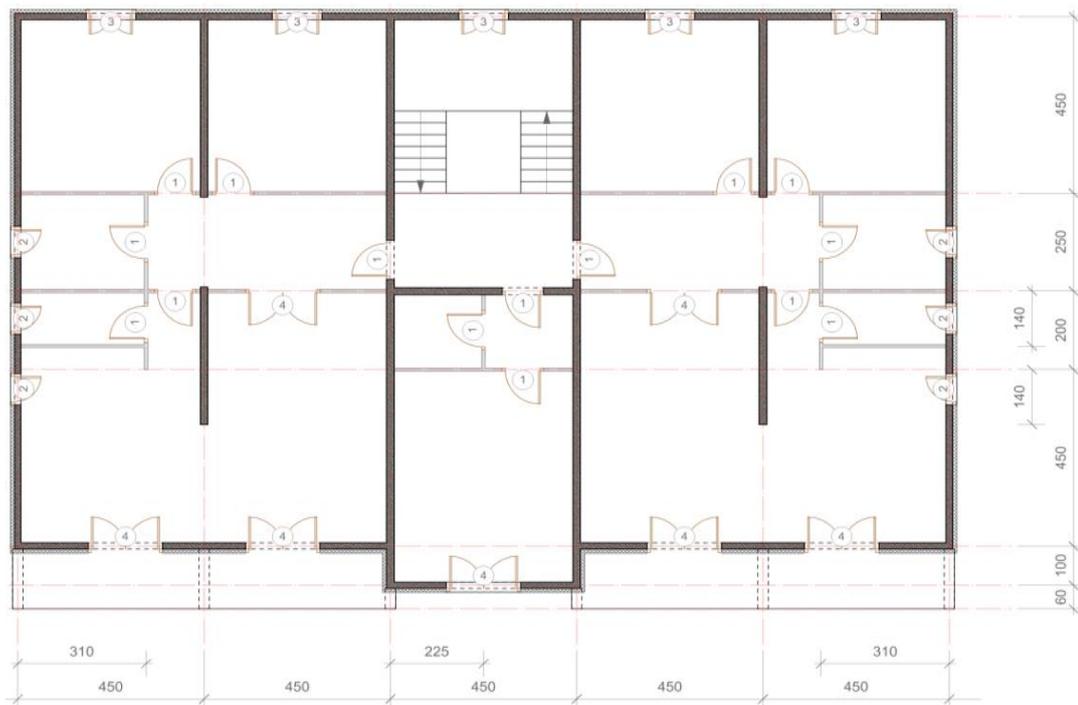


Figure 4 : Plan courant d'un étage (tiré du rapport de Centrale Lyon)

Sur le plan courant en *Figure 4* (tous les étages sont identiques) on note également cette simplicité : chaque étage présente une symétrie, ce qui va faciliter grandement la conception (sur CadWork notamment). Nous pouvons optimiser la conception sur un ½ étage (partie gauche ou droite). Les plans 2D sont disponibles en *Annexes*.

2.2. Justification des paramètres du projet

Les différentes valeurs données précédemment ont été mûrement réfléchies, en effet elles sont essentielles à la conception, certaines ont d'ailleurs dû être modifiées en cours de route (comme l'entraxe entre montants). Nous allons détailler les choix fait pour chacune des valeurs.

2.2.1. Section des pièces de l'ossature

En ce qui concerne la section des pièces de bois de l'ossature (montants, lisses, traverses, entretoises, ...), nous avons préféré nous positionner sur la section la plus « classique », c'est-à-dire 45*145, cela permet d'avoir une épaisseur d'isolation extérieure convenable (140 selon les valeurs du commerce).

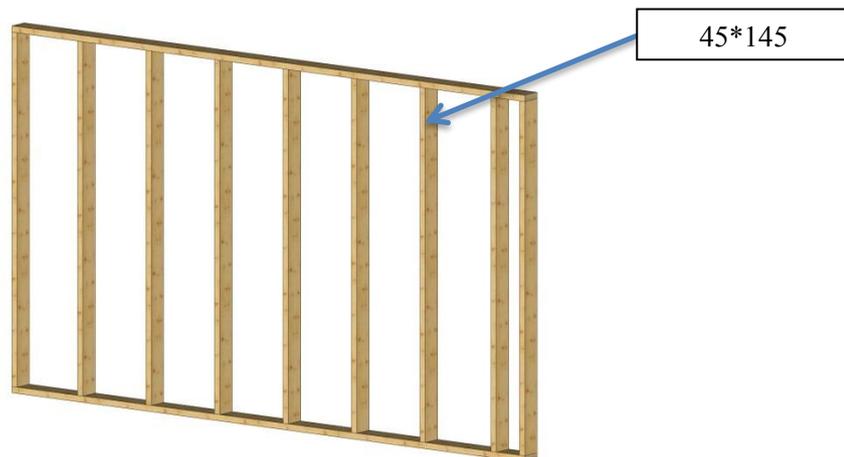


Figure 5 : Mur ne contenant que l'ossature bois

2.2.2. L'entraxe entre montants

Une rapide recherche basée sur la bibliographie et nos expériences nous a permis d'isoler 2 valeurs : 400 et 600 mm. Etant donné la hauteur de la structure (environ 13 mètres), nous avons au départ opté pour un entraxe de 400 mm, mais au fur et à mesure des réflexions vis-à-vis de la thermique, nous nous sommes rendu compte que beaucoup d'isolants intérieurs se présentaient sous forme de rouleaux de 57,5 cm de large (l'épaisseur étant reprise par la hauteur du montant). Un entraxe de 400 mm devient donc insuffisant (sauf si l'on choisit un isolant insufflé, mais cela complique la mise en œuvre et augmente également le coût).

C'est donc l'espace entre chaque montant qui est ici important, avec notre solution nous avons 55,5 cm (avec des sections de bois de 45*145, ce qui est convenable pour les rouleaux d'isolant décrits précédemment).

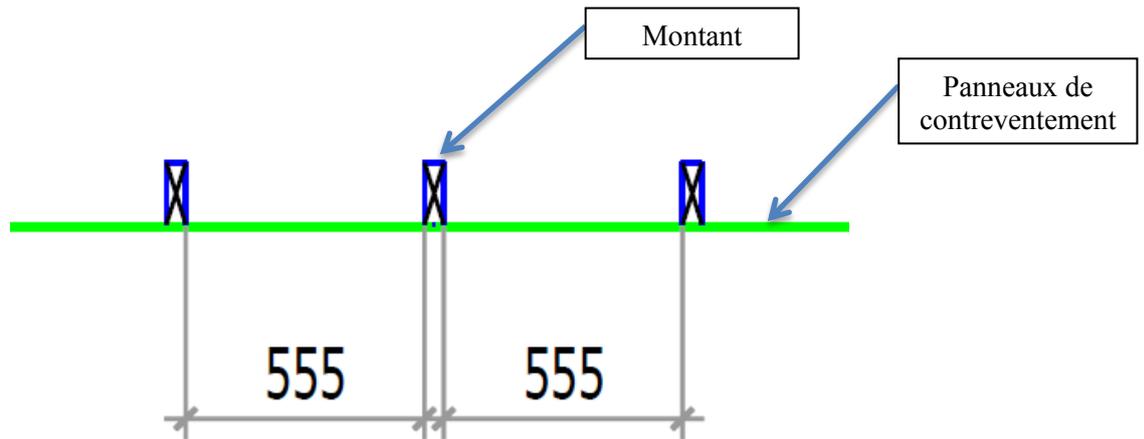


Figure 6 : Espace disponible pour l'isolant intérieur entre les montants de l'ossature

2.2.3. La hauteur de l'étage

Sur les plans du précédent projet, on constate que les étages ont une hauteur de 2,8 m (mur et plancher compris), ce qui est plutôt un standard dans les structures béton. Le problème est qu'ici, en considérant une hauteur sous plafond d'environ 2,5 m, il nous faudrait donc un plancher de 0,3 m. Cette dernière valeur paraît faible pour un plancher avec solivage bois d'un bâtiment de cette importance (R+3), nous allons donc faire le choix d'augmenter la hauteur des étage pour passer à 3 m, cela nous laisse environ 0,5 m de plancher. La hauteur totale du bâtiment va donc différer par rapport au précédent projet, et aussi à l'étude en CLT.

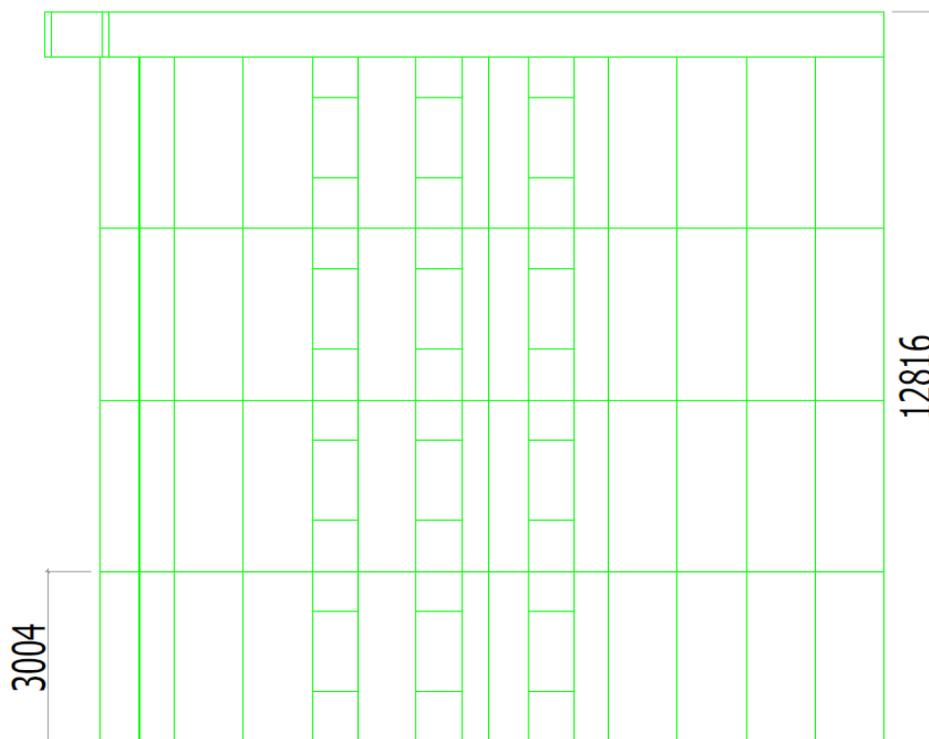


Figure 7 : Hauteur totale du bâtiment

2.2.4. L'épaisseur du panneau de contreventement

Ce dernier paramètre n'a pas ou a peu d'influence sur les dimensions du bâtiment, mais il est très important dans la reprise des efforts par le contreventement. De façon plus ou moins conventionnelle, l'épaisseur du panneau varie de 9 à 15 mm. Vu notre hauteur importante d'étage, nous avons choisi des panneaux de 12*1196*3000, trouvables dans le commerce.

2.3. Les parois

2.3.1. Murs extérieurs

C'est le type de mur principal du bâtiment, il constitue son enveloppe. Pour les pièces de l'ossature on prendra du sapin (bois massif, classement structure C24 et classement visuel ST2) et pour le contreventement des panneaux d'OSB 3, leur largeur est de 1196 mm. La logique voudrait que cette dernière valeur soit plutôt de 2000 mm mais il faut laisser un jeu à cause des variations dimensionnelles, on compte environ 1mm/m donc pour 2 panneaux d'environ 2 m de large on a bien 4 mm de jeu, ce qui justifie la largeur des panneaux d'OSB. Les panneaux sont fixés grâce à des pointes 2,1*55 sur les montants et les lisses, on ajoute également des équerres de fixation entre les montants périphériques et les lisses.



Figure 8 : Jeu entre panneaux d'OSB

Mécaniquement, leur rôle est d'assurer la stabilité de l'ouvrage face aux différentes sollicitations. Les montants d'ossature assurent la descente des charges gravitaires (le poids propre de la structure ou les charges de neige par exemple), les panneaux de contreventement, eux, écoulent les charges horizontales (les charges de vent exclusivement) entre les étages. Le dimensionnement du contreventement sera détaillé dans la partie relative à l'étude mécanique. Le rôle des murs est donc primordial dans la stabilité de la structure.

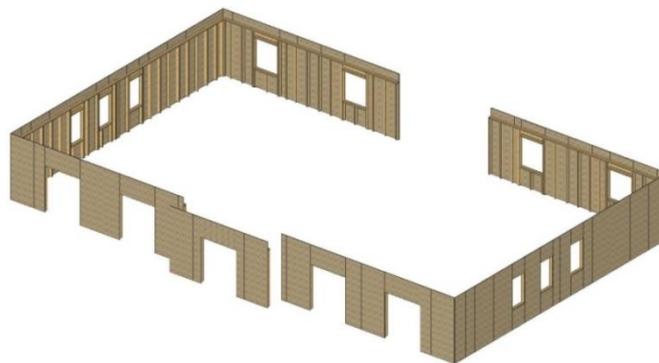


Figure 9 : Ensemble des murs extérieurs pour un étage (montants et panneaux de contreventement)

Dans la conception de ces murs, nous avons essayé de garder l'entraxe (600m) inchangé au maximum, mais les limites et les menuiseries (portes et fenêtres) nous ont limité dans ce sens, ceci a une incidence sur la largeur des panneaux. Ces derniers ont une hauteur supérieure à l'ensemble de l'ossature car elle inclut celle du plancher (300 mm, nous en parleront dans la *partie 2.3.1*).

La composition de ces murs doit assurer l'isolation et l'étanchéité entre l'extérieur et l'intérieur (les choix constructifs thermiques seront détaillés plus tard dans le rapport). Pour parements intérieurs et extérieurs nous prendrons respectivement des plaques de placo-plâtre BA18 et de l'enduit.

2.3.2. Murs de refend

Ces murs contribuent également à la stabilité de l'ouvrage (ils apparaissent dans le calcul de contreventement), ils sont placés à l'intérieur. Il est recommandé d'avoir un mur de refend au minimum tous les 9 m pour un mur extérieur. Lorsque l'on regarde les plans du projet en béton, les murs de refend apparaissent assez clairement. En effet, en reprenant les anciens de murs de refend (en béton) et certaines cloisons on arrive à les "placer" sans trop de problèmes avec la règle précédemment expliquée. Notre de choix est visible dans la *Figure 10* (les murs de refend sont en rose).

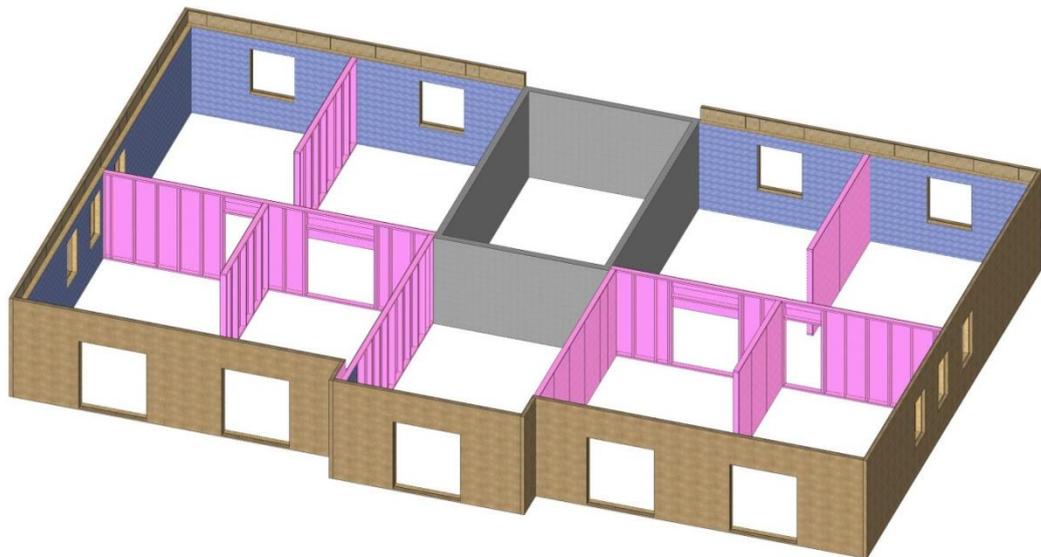


Figure 10 : Positionnement des murs de refends (en rose sur l'illustration)

Les valeurs des paramètres restent les mêmes que pour les murs extérieurs, à l'exception de la hauteur des panneaux d'OSB qui n'est plus de 3 m puisqu'il n'est pas nécessaire de reprendre la hauteur du plancher, ce dernier est posé à même les murs de refend.

On distingue dans le projet, mur de refend et cloisons intérieures, en effet ces dernières n'ont pas de fonction structurelle, elles doivent rester assez modulables.

2.3.3. Acrotères

Au-dessus de la toiture plate (décrite dans la *partie 2.3.5*), se trouvent des murs acrotères, ils ont une hauteur de 0,8 m. Leur constitution est semblable à celle d'un mur ossature bois. A noter qu'ils sont également isolés (intérieurement et extérieurement) pour diminuer le pont thermique au niveau de la toiture.



Figure 11 : Ossature acrotère

Le rôle de l'acrotère est d'assurer la sécurité lors des visites de toit, ou lors de l'accrochage d'un échafaudage (pour un entretien de façade par exemple), elle offre également un relevé d'étanchéité.

2.3.4. Planchers intermédiaires

Pour la structure globale du bâtiment, nous avons opté pour une structure en plateforme, c'est-à-dire que les planchers intermédiaires reposent sur les murs (en d'autres termes les montants ne sont pas filant sur toute la hauteur de l'ouvrage), on peut voir le principe de la plateforme sur les illustrations suivantes.

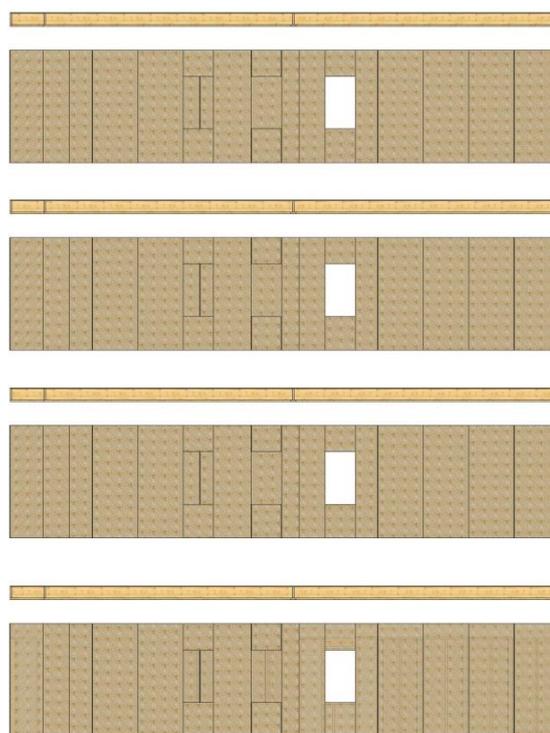


Figure 12 : Représentations de la structure en plateforme

- PARTIE 1 - CONCEPTION DU BATIMENT

Pour le solivage, contrairement aux murs extérieurs et de refend, nous opterons pour des poutres en I (directement arrivées de la construction métallique), elles sont constituées d'une âme en OSB et de membrures en lamibois (voir *Figure 13*). Ce type de poutres présente de nombreux avantages, comme leurs poids relativement faible en comparaison au bois massif (facilité de manutention sur chantier, gain de poids sur la structure pour la descente de charges), mais aussi sa meilleure adaptation à la thermique du bâtiment. On doit s'assurer de garder une longueur d'appui d'au moins 45 mm, pour le projet on a au minimum 50 mm. Les poutres en I viennent en bout contre deux lisses d'about, pour fermer le plancher on utilisera une lisse de fermeture. Ces 2 dernières sont également en lamibois (plus résistantes).



Figure 13 : Poutre en I

En ce qui concerne la portée des poutres en I, elle sera d'au maximum 4780 mm. A cause de la longueur d'appui minimale, nous n'avons pas pu optimiser au maximum cette valeur pour la rendre identique sur tous les planchers.

L'ensemble solives/lisses d'about/lisse de fermeture repose sur des lisses de chaînage, elles sont placées au-dessus des lisses hautes et sont croisées par rapport à ces dernières.



Figure 14: Mise en œuvre des lisses de chaînage (en rose)

Sur le solivage repose des panneaux d'OSB 3 d'épaisseur 22mm (standard pour les planchers), de dimensions 675*2500, ces panneaux sont assemblés par rainure-langue. Sur cette dalle plancher repose une chape liquide, un isolant phonique et un revêtement de sol (les compositions des parois seront détaillées dans la *Partie 3 – Etude thermique*). Un faux plafond sera suspendu aux poutres en I.

L'illustration légendée suivante (*Figure 15*) montre les différentes pièces du plancher.

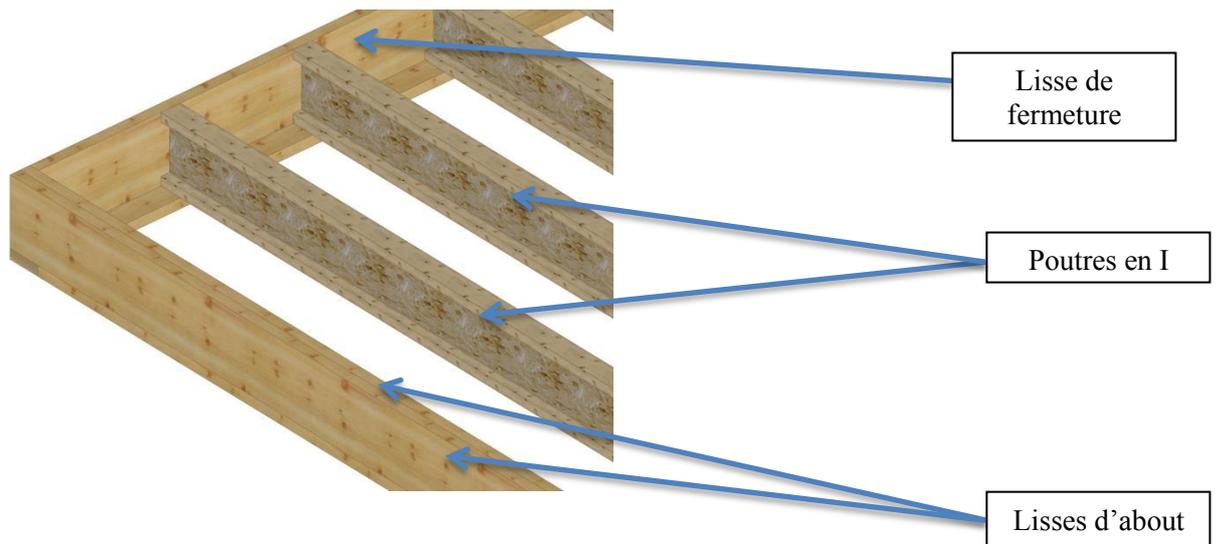


Figure 15 : Illustration légendée d'un plancher intermédiaire (certains panneaux d'OSB ont été cachés pour une meilleure lisibilité)

2.3.5. Toiture plate

A la vue des plans de l'ancien projet, on remarque que la toiture est dite "plate", sa constitution est très proche de celle des planchers intermédiaires. Effectivement, le solivage est également composé de poutre en I et des pièces en lamibois. La différence provient du revêtement supérieur, sur la dalle OSB repose un isolant extérieur, qui assure également l'étanchéité.

Sur la dalle reposent également les acrotères. La pente de toiture est assez faible mais suffisante pour évacuer les eaux de pluie (pour le calcul des efforts climatiques on prendra 3% de pente).

2.4. Liaisons entre parois

Dans cette partie, les organes d'assemblages seront uniquement représentés par des traits noirs, les illustrations de chaque organes seront présentes en *Annexes*.

2.4.1. Liaison mur/mur

- **Angle sortant à 90°**

La liaison est ici renforcée en rajoutant un montant pour agrandir la zone d'assemblage. Ils seront fixés au moyen de boulons (ou tire-fond) de diamètre ≥ 8 mm sur au moins 3 points de la hauteur du montant. On veillera à limiter le pont thermique en plaçant de l'isolant derrière le montant supplémentaire.



Figure 16: Angle sortant à 90° (montant supplémentaire en rose)

- **Angle rentrant à 90°**

Cela concerne la liaison au niveau du hall d'entrée (entre mur de refend et mur extérieur), on applique la même méthode que précédemment, c'est-à-dire rajouter un ou des montants supplémentaires pour assurer un bon emplacement d'assemblage. Ici on utilisera les mêmes organes et la même quantité que pour l'angle sortant. Le choix de conception est visible dans l'illustration suivante.

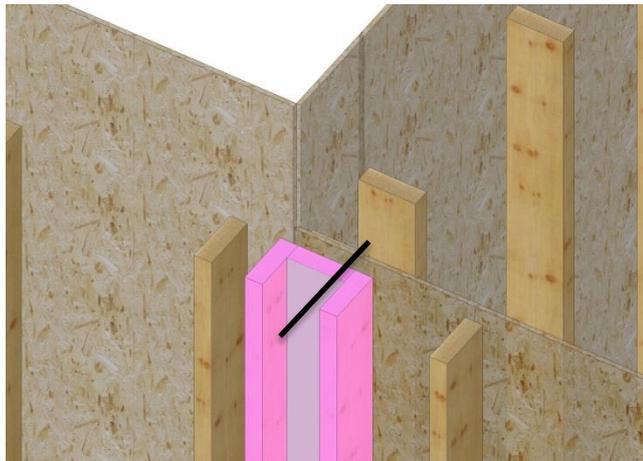


Figure 17 : Angle rentrant à 90° (montant supplémentaire en rose)

- **Fixation entre deux murs**

Les deux montants périphériques sont assemblés ensemble comme pour les murs à angle sortant et rentrant.

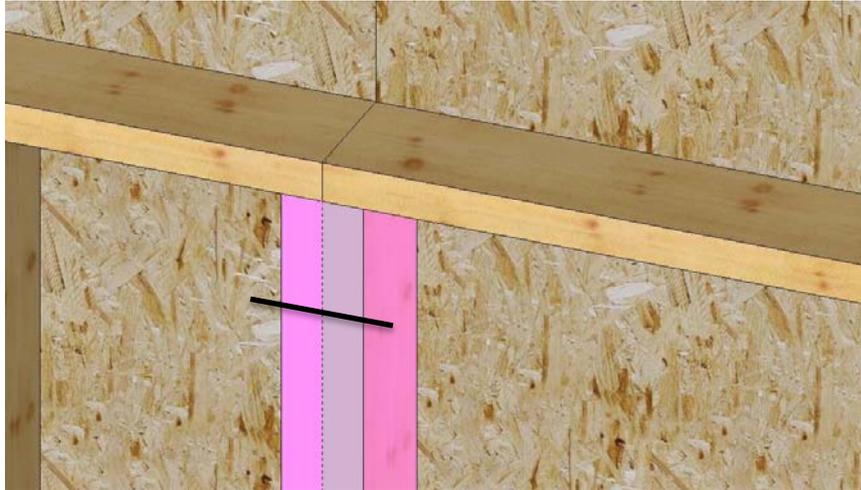


Figure 18 : Fixation entre 2 murs aboutés

- ***Liaison entre mur extérieur et mur de refend***

Le mur de refend (à l'intérieur du bâtiment) arrive en bout sur le mur extérieur, pour assurer un bon assemblage, sur le même principe que les liaisons précédemment décrites, on rajoute des pièces de bois (ici des montants). Les fixations restent également les mêmes.



Figure 19: Liaison entre mur de refend et mur extérieur (montants supplémentaires en rose)

2.4.2. Liaison mur/plancher intermédiaire

Comme nous l'avons expliqué nous avons choisi une structure en plateforme, le plancher repose donc sur les murs (plus précisément sur les lisses de chaînage), il faut porter la plus grande attention à cette jonction car elle est susceptible d'apporter un grand pont thermique.



Figure 20 : Liaison mur plancher

Les lisses de fermeture et d'about sont vissées dans la lisse de chainage et la lisse haute, le panneau d'OSB du mur est fixé par clouage. Les solives, elles, sont assemblées par pointes en bout.

2.4.3. Liaison paroi/béton

- **Fixation des murs sur le plancher béton**

Les fondations sont en béton, sur le plancher bas du RDC on garde du béton (pas de platelage ni de solivage). Pour fixer l'ensemble des murs sur le béton, on passe par l'intermédiaire de lisses de pose, elles sont prévues pour assurer la planéité du système de murs. En effet on dispose des cales entre la lisse de pose et le béton pour rectifier tous défauts, il faudra veiller à garder l'étanchéité (par un coupe capillarité) entre le béton et la structure bois. Pour la fixation on prendra des goujons d'ancrage et des équerres d'ancrage.

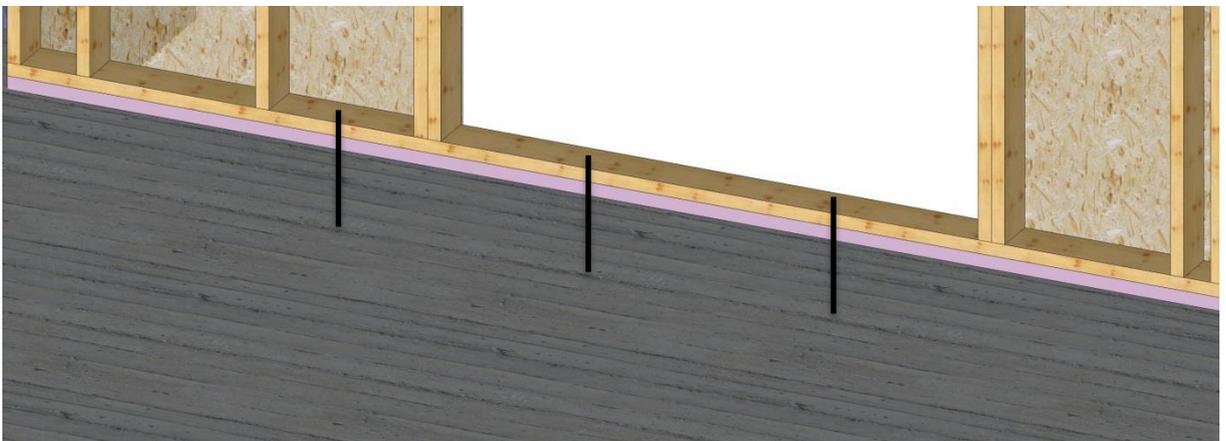


Figure 21 : Ajout d'une lisse de pose pour la planéité (en rose)

- **Fixation des murs sur la cage d'escalier**

Comme le bâtiment est un R+3, collectif qui plus est, il faut une cage d'escalier pour accéder aux différents étages. Nous avons choisi de faire cette structure en béton, ce choix sera justifié dans la *partie 2.5.1*. Les murs concernés viennent se fixer parallèlement à la face arrière de la cage d'escalier, en s'assurant que chaque panneau d'OSB vienne se placer sur le même plan que le béton (voir *Figure 22*). Ces deux faces recevront l'isolation extérieure. En ce qui concerne l'assemblage, le montant périphérique qui arrive contre la structure béton y est fixé au moyen de douilles à expansion (voir *Figure 22*).

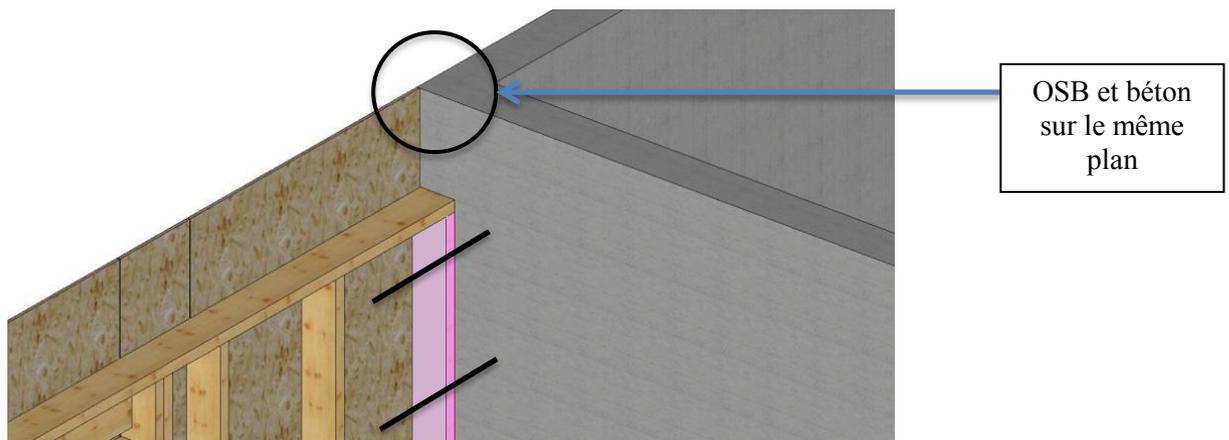


Figure 22 : Assemblage mur ossature bois et béton (montant qui assure l'assemblage en rose)

- **Fixation des planchers intermédiaires sur la cage d'escalier**

Cette liaison est assurée par l'intermédiaire des lisses de fermetures -en bout de solives- et d'about -parallèles aux solives- (voir Figure 23), elles sont fixées sur le mur grâce à des douilles à expansion. Les solives concernées (à gauche sur la Figure 23) reposent sur des sabots métalliques (qui sont cloués sur la lisse). Il faudra veiller à bien espacer les différentes fixations.

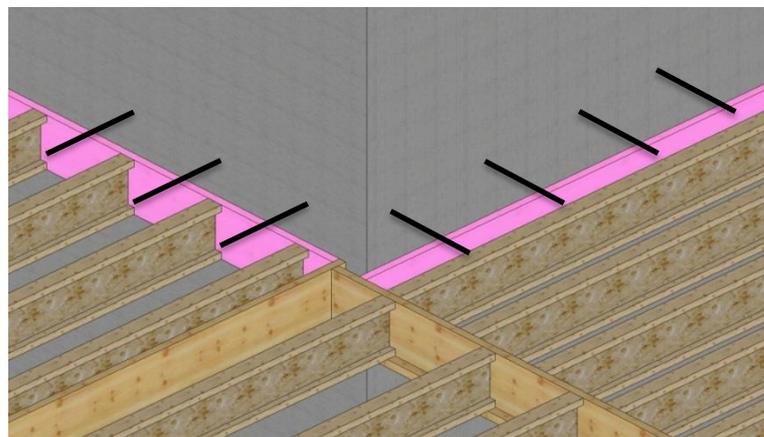


Figure 23 : Choix de conception pour la fixation des planchers sur la cage béton

2.5. Points « sensibles » de la conception

2.5.1. La cage d'escaliers

L'édifice étant un R+3, il est nécessaire pour accéder aux différents niveaux d'avoir une cage d'escalier. Cette dernière est bien présente dans le projet béton. Après consultation auprès de diverses personnes, nous avons pris la décision de la réaliser en béton. L'épaisseur des parois est de 180 mm. Dans la construction bois, les concepteurs ont parfois recours à des panneaux massifs contrecollés (CLT).

Notre choix présente plusieurs avantages :

- Cette solution rigidifie la structure (on parle de « point dur ») ;
- Elle apporte de l'inertie au bâtiment qui en manquait particulièrement (c'est le problème de beaucoup de solution à ossature bois) ;
- S'il faut aménager un ascenseur (pour l'accès des personnes à mobilité réduite), la structure béton sera plus adaptée qu'une structure bois.

Pour la partie intérieure de la cage on isolera avec des panneaux d'isolation souple, comme pour l'ossature bois.

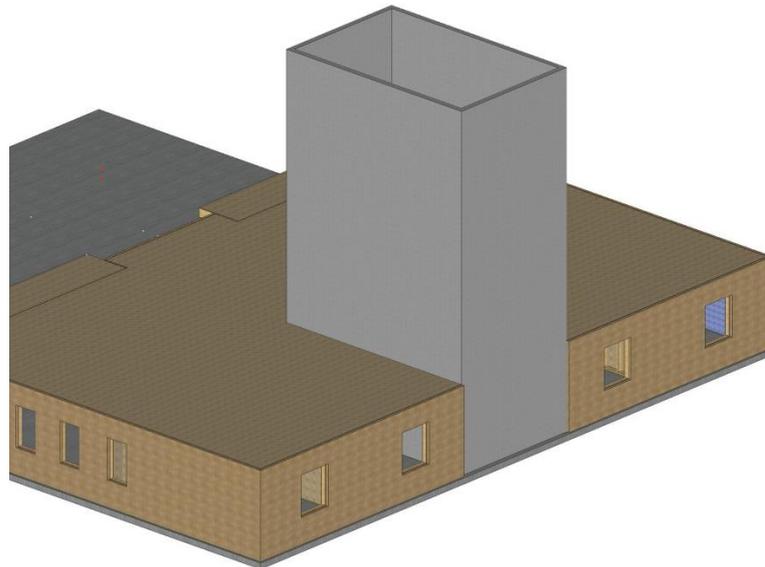


Figure 24 : Intégration de la cage d'escaliers en béton

2.5.2. Intégration des menuiseries extérieures dans l'ossature

Le projet compte de nombreuses fenêtres et portes en son sein, il faut les intégrer dans les murs ossature bois. Pour cela on délimite l'encombrement au moyen d'un cadre, composé de deux traverses (haute et basse) et de deux montants périphériques (voir *Figure 25*)

Pour éviter toute déformation dans le cadre de la menuiserie, il faut répartir la descente de charge sur les côtés (montant périphérique), comme représenté sur la *Figure 25*. Comme solution constructive nous décidons de placer un linteau sur champ (en lamibois) suffisamment en hauteur par rapport à la traverse haute pour ne pas que la flèche induite ne vienne en contact. Une coupe est réalisée dans les montants périphériques pour la mise en œuvre du linteau.

Cette technique constructive s'applique aussi bien sur les murs extérieurs que les murs de refend.

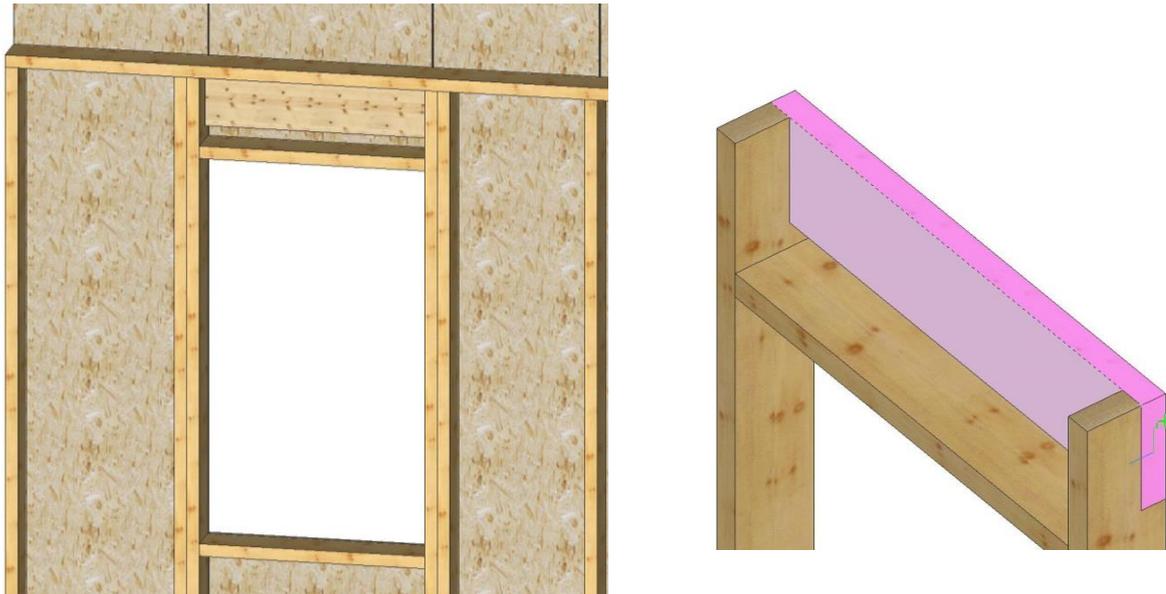


Figure 25 : Descriptif de la technique constructive d'intégration des menuiseries extérieures (à gauche) et coupe dans les montants nécessaire à la mise en œuvre du linteau en rose (à droite)

2.5.3. Intégration des balcons sur l'ouvrage

Autre point problématique, et pas des moindres, l'intégration des balcons dans notre projet, ces derniers ne se lient pas facilement avec la construction à ossature bois. Nous avons choisi de les désolidariser de la structure. Cette solution présente quelques avantages :

- La conception est simplifiée : il ne faut pas réfléchir à la mise œuvre de poutre filante qui partirait du plancher intermédiaire ;
- On évite un porte à faux de 1600 mm ;
- Le pont thermique est diminué (par rapport à une solution de solives filantes).

Le balcon se présente sous la même forme que les planchers intermédiaires : solivage (poutres en I), lisses d'about et lisses de fermeture. On fixera une muraille sur le bâtiment au moyen de tire-fond. Les solives reposent sur des sabots métalliques.

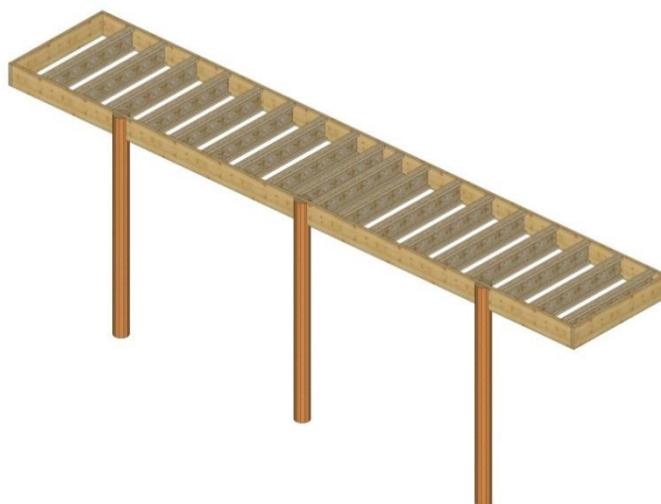


Figure 26 : Solivage d'un balcon

- PARTIE 1 - CONCEPTION DU BATIMENT

Pour éviter le porte à faux, nous plaçons trois poteaux en bois massif de section circulaire entaillés pour reprendre la lisse de fermeture (voir *Figure 27*), leur section sera relativement importante (200 mm de diamètre).

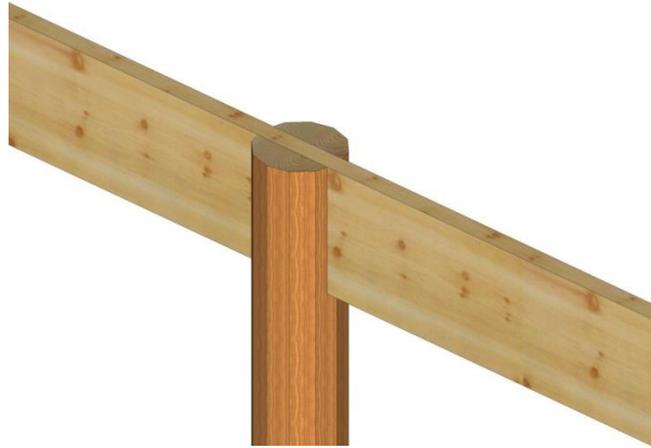


Figure 27 : Entaille dans le poteau

On rajoutera des coupes de panneaux d'isolation extérieure (entre les solives) proches de la muraille pour limiter le pont thermique.

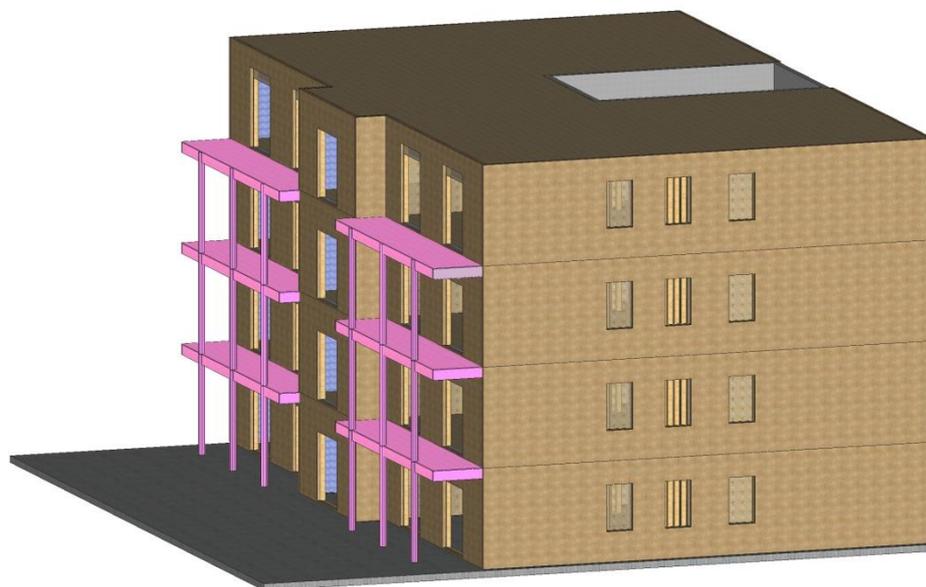


Figure 28 : Vue d'ensemble des balcons

- PARTIE 2 - ETUDE MECANIQUE

1. ETUDES DES CHARGES CLIMATIQUES SUR LA STRUCTURE

1.1. Descriptions de l'ouvrage et hypothèses

Toiture plate



Pignon

Long pan

Situation de l'ouvrage :

La Rochelle 17

Altitude du lieu d'implantation :

5 m

Implantation :

IV - Zone urbaine (15% surface recouverte h>15 m)



1.2. Etude de la neige

Nous nous plaçons dans le cas B1, chute exceptionnelle et redistribution normale.

1.2.1. S_n Action normale sur la toiture

$$S_n = \mu_i C_e C_t s_k + s_1$$

- Coefficient d'exposition C_e : $C_e = 1$ Coefficient de température C_t : $C_t = 1$

- s_1 = majoration pour faible pente = 0,2 kN/m² (pente = 3%)

- $h = 5 \text{ m}$ $0 \text{ m} < h \leq 200 \text{ m}$

Neige au sol $s_{k,200}$: $s_{k,200} = 0,45 \text{ kN/m}^2$

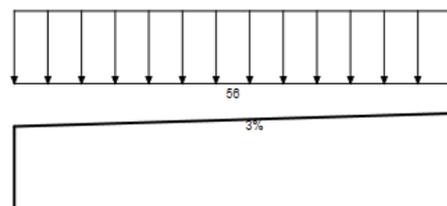
- $s_k = s_{k,200} + \Delta s_1 = 0,45 + 0 = 0,45 \text{ kN/m}^2$

$$\mathbf{S_k = 0.45 \text{ kN/m}^2}$$

- $S_n = \mu_i \times s_k + s_1$ avec $\mu_i = 0.8$

$$S_n = 0,8 \times 0,45 + 0,2 = 0,56 \text{ kN/m}^2$$

$$\mathbf{S_n = 0.56 \text{ kN/m}^2}$$

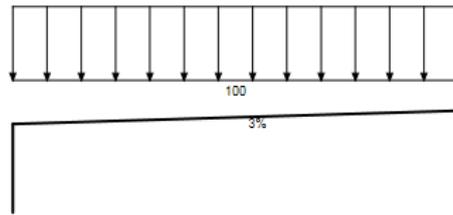


1.2.2. S_x Action accidentelle sur la toiture

- $S_x = \mu_1 s_{Ad} + s_1 S_{Ad}$ en zone A2 $S_{Ad} = 1kN/m^2$ donc $S_x = \mu_1 + 0,2$

$$S_x = 0,8 + 0,2 = 1kN/m^2$$

$$S_x = 1 kN/m^2$$



1.2.3. Répartition de la neige sur la toiture

Concernant la distribution normale de la neige, nous avons fait le choix de prendre une distribution uniforme sur la base des toitures à une pente :

Pente : $\alpha = 3\%$, d'où $\alpha = 1,72^\circ$ donc $\mu_1 = 0,8$

1.3. Etude du vent

Le bâtiment à une forme rectangulaire simple, il peut être analysé par décomposition des parois.

$$\left. \begin{aligned} F_{we} &= c_s c_d \sum_{surfaces} w_e A_{ref} \\ F_{wi} &= \sum_{surfaces} w_i A_{ref} \end{aligned} \right\} F_w = \sum_{surfaces} (c_s c_d w_e - w_i) A_{ref} = \sum_{surfaces} (c_s c_d q_p(z_e) C_{pe} - q_p(z_i) C_{pi}) A_{ref}$$

$$F_w = q_p(z_e) \sum_{surfaces} (c_s c_d C_{pe} - C_{pi}) A_{ref}$$

$c_s c_d = 1$ car la structure a une hauteur de moins de 15 m : les façades et les éléments de toiture ont donc une fréquence propre de vibration $>$ à 5 Hz.

1.3.1. Détermination de la pression du vent en vitesse de pointe (calcul)

Choix de la zone 3 : $V_{b,0} = 26m/s$, $c_{dir} = 1$ et $c_{season} = 1$

Catégorie de terrain IV : $z_{min} = 15m$; $z_{max} = 200m$ et $z_0 = 1,0m$

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z)$$

- Vitesse moyenne du vent V_m : $V_m = c_r(z) c_0(z) V_b$

- Coefficient de rugosité $c_r(z)$: $c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$

- Hauteur de la maison $z < z_{min} \Rightarrow z = z_{min} = 15m$

- Coefficient de terrain k_r :

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,H}} \right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{1,0}{0,05} \right)^{0,07} = 0,234$$

$$\Rightarrow c_r = 0,234 \times \ln \left(\frac{15}{1,0} \right) = 0,635$$

○ Coefficient d'orographie $c_0(z)$: Zone normale $\Rightarrow c_0(z) = 1$

$$\Rightarrow V_m(z) = 0,635 \times 1 \times 26 = 16,50 \text{ m/s}$$

▪ Intensité de turbulence $I_v(z)$:
$$I_v(z) = \frac{k_t}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)}$$

○ Coefficient de turbulence en site orographique plat

$$k_t = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(z_0) + 3)^6 = 1 - 2 \cdot 10^{-4} (\log_{10}(1,0) + 3)^6 = 0,854$$

$$\Rightarrow I_v(z) = \frac{0,854}{1 \times \ln \left(\frac{15}{1,0} \right)} = 0,315$$

La pression du vent en vitesse de pointe s'obtient alors par :

$$q_p(z) = [1 + 7 I_v(z)] \frac{1}{2} \rho V_m^2(z)$$

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \times 0,315] \frac{1}{2} \times 1,225 \times 16,50^2$$

$$q_p(z_e) = 535 \text{ Pa}$$

1.3.2. Coefficients de pression intérieure

L'ouvrage est considéré fermé en situation de vent qui n'a que 2% de chance d'être dépassée par an. Les coefficients de pression intérieure sont donc pris égaux à :

Pression intérieure $C_{pi} = +0,2$

Dépression intérieure $C_{pi} = -0,3$

1.3.3. Force liée à l'effet d'entraînement

Si $\sum A_{// \text{ au vent}} > 4 \times \sum A_{\perp \text{ au vent et sous le vent}}$ il y a un effet d'entraînement :

$$F_{\text{vent}} = c_{fr} q_p(z_e) A_{fr}$$

$$c = \min\{2b; 4h\} \text{ Surface rugueuse : coefficient de frottement } c_{fr} = 0,02$$

Or dans notre cas, la condition précédente n'est pas respectée donc il n'y a pas d'effet d'entraînement à considérer.

1.3.4. Récapitulatif des coefficients de pression de la construction (vent sur long pan)

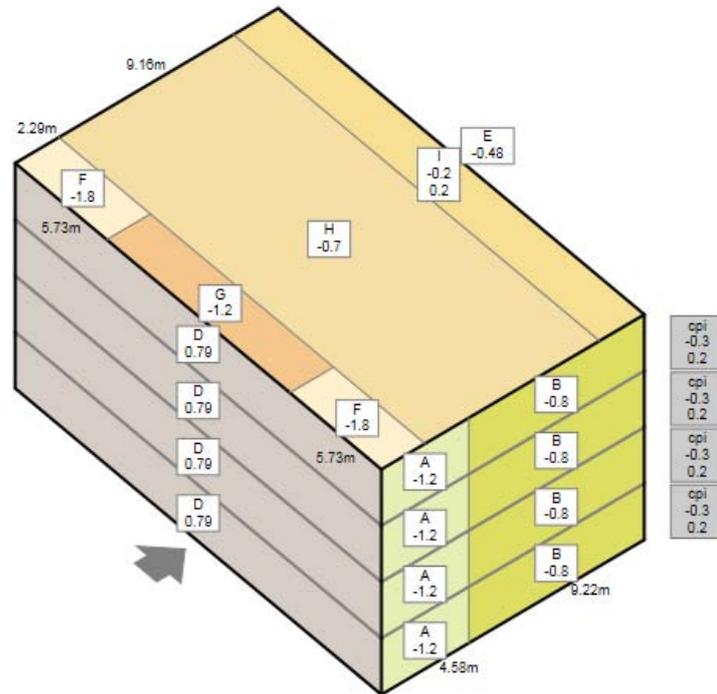


Figure 29 : Récapitulatif des coefficients de pression sur le long pan

1.3.5. Récapitulatif des coefficients de pression de la construction (vent sur pignon)

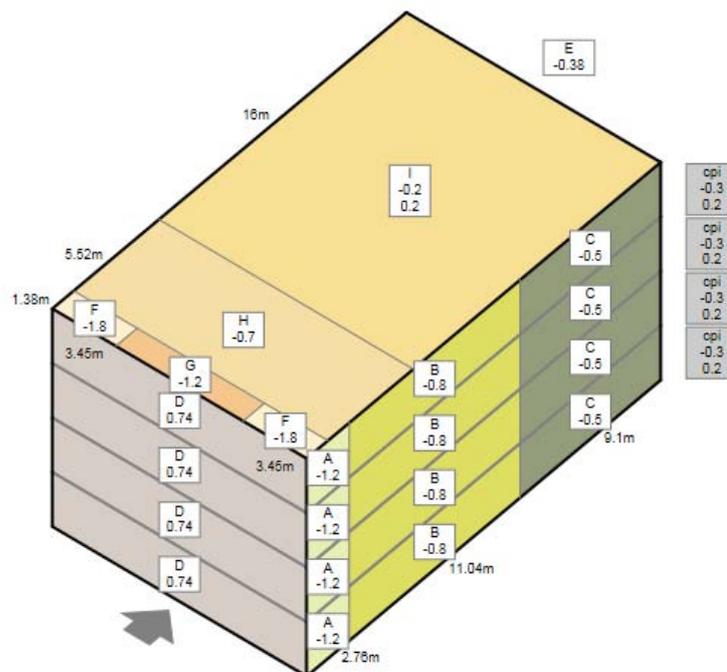


Figure 30 : Récapitulatif des coefficients de pression sur le long pan

1.4. Quantification des efforts de vent sur la construction

<u>Forces résultantes</u>		Vent normal au long pan: l en pression	Vent normal au long pan: l en dépression	
Effort de vent horizontale pour CONTREVENTEMENT	1 ^{er} étage (Fctv1)	100,356	100,36	kN
Effort de vent horizontale et position point application de la charge pour STABILITE (Fstbh)		200,71	200,71	kN
position sur z		6,45	6,45	m
Effort vent verticaux et des positions point application charge pour STABILITE (Fstbv)	Supression intérieure	-139,07	-150,59	kN
	position sur y	5,30	5,86	m
	Dépression intérieure	-54,56	-66,07	kN
	position sur y	2,83	4,53	m
Force liée à l'effet d'entrainement (kN)		0,00		kN

Tableau 1 : Forces résultante des efforts de vent sur le long pan

<u>Forces résultantes</u>		Vent normal au pignon: l en pression	Vent normal au pignon: l en dépression	
Effort de vent horizontale pour CONTREVENTEMENT	1 ^{er} étage (Fctv1)	60,476	60,48	kN
Effort de vent horizontale et position point application de la charge pour STABILITE (Fstbh)		120,95	120,95	kN
position sur z		6,45	6,45	m
Effort vent verticaux et des positions point application charge pour STABILITE (Fstbv)	Supression intérieure	-50,50	-97,74	kN
	position sur y	3,19	8,85	m
	Dépression intérieure	34,01	-13,23	kN
	position sur y	23,71	-7,75	m
Force liée à l'effet d'entrainement (kN)		0,00		kN

Tableau 2 : Forces résultante des efforts de vent sur le pignon

2. DESCENTE DE CHARGE VERTICALE

On s'intéresse ici au cheminement des efforts gravitaires : le poids propre de la structure (G), les charges d'exploitation (Q), les charges de neige (S) et la composante verticale des efforts de vent (W).

Les charges arrivent sur la toiture et descendent le long de la structure au moyen des montants de l'ossature.

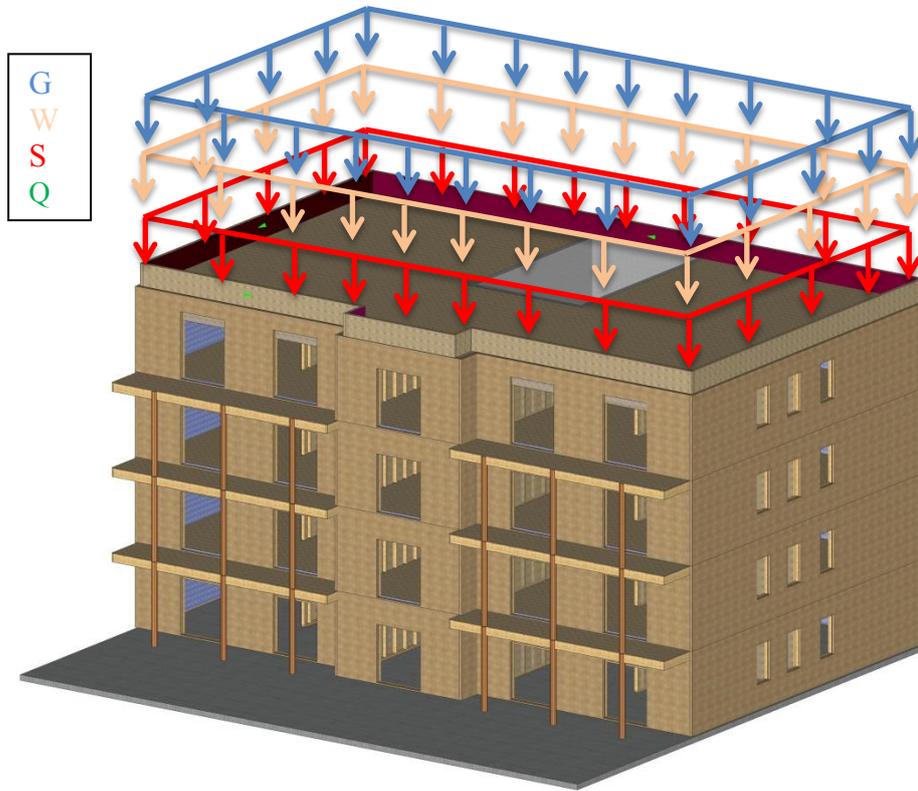


Figure 31 : Descente de charges au niveau de la toiture

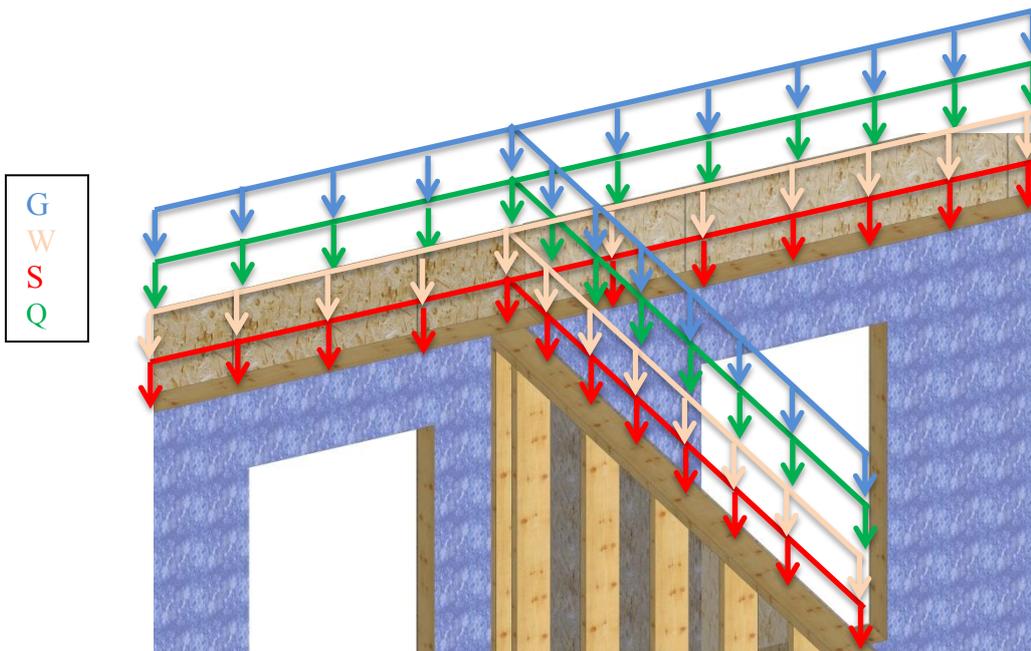


Figure 32 : Descente de charges le long des murs extérieurs et de refend

Les charges d'exploitation représentent les efforts engendrés par l'utilisation du bâtiment (ici nous sommes en catégorie A). Sur la *Figure 32* on remarque que les charges d'exploitation viennent s'ajouter aux charges précédentes qui descendent de la toiture (voir *Figure 31*). Les montants sont sollicités en compression axiale (parallèle au fil du bois), le risque principal est le flambement du montant, pour éviter ceci on placera éventuellement des entretoises entre les montants.

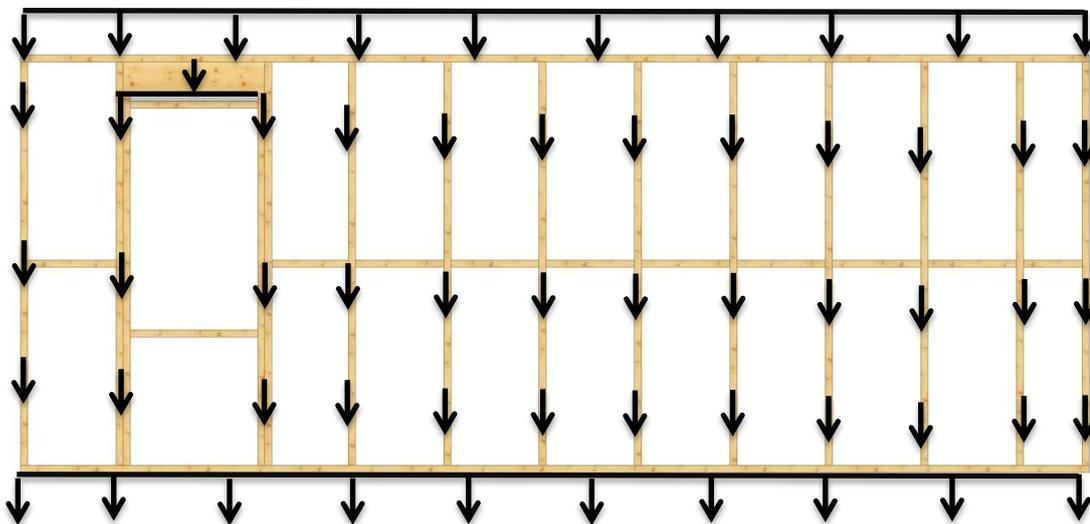


Figure 33 : Cheminement des efforts sur un mur ossature bois (avec entretoise pour limiter le flambement)

3. DIMENSIONNEMENT DU PLANCHER

3.1. Présentation et hypothèses

Pour notre projet, nous avons optimisé au mieux la portée des solives en respectant la longueur d'appui minimum de 45 mm des poutres en I sur la lisse de chaînage ou des sabots métalliques, elles reposent sur 2 appuis. Nous avons 3 portées différentes : 4408, 4358 et 4780 mm. C'est cette dernière portée qui sera dimensionnante (elle est située sur la partie centrale)

Nous avons choisi des poutres en I de la marque *Mestäwood*, ce choix est intéressant car la société fournit (gratuitement) un logiciel de calcul adapté avec ses profils de poutres, nous allons donc calculer nous-mêmes le solivage avec un feuille de calcul Excel et comparer les résultats avec le logiciel *Finnwood*

Passons maintenant à l'hypothèse de calcul. Comme expliqué auparavant nos solives reposent sur 2 appuis, elle subissent 2 charges linéiques (en kN/m) : le poids propre g_k et la charge d'exploitation q_k (voir *Figure 34*)

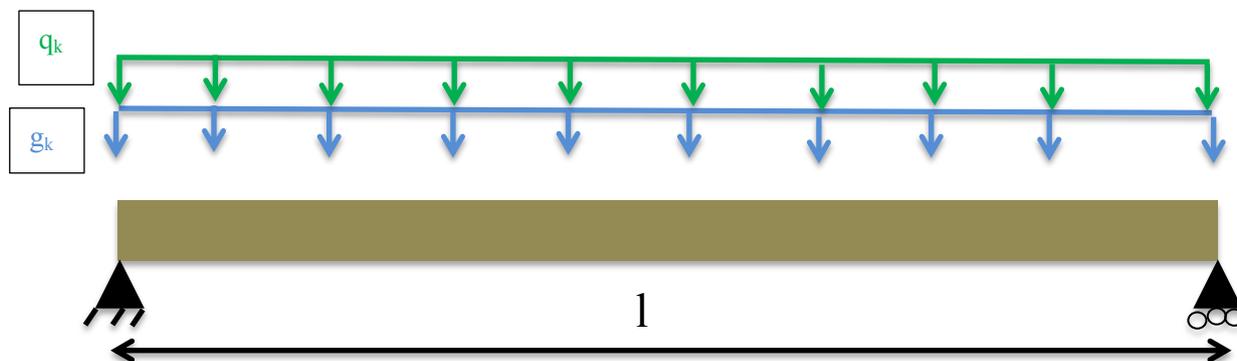


Figure 34: Schéma des efforts sur une solive

La poutre a un profilé "en I", sur la *Figure 33* on détaille les principales valeurs nécessaires au calcul et qui définiront notre choix de section.

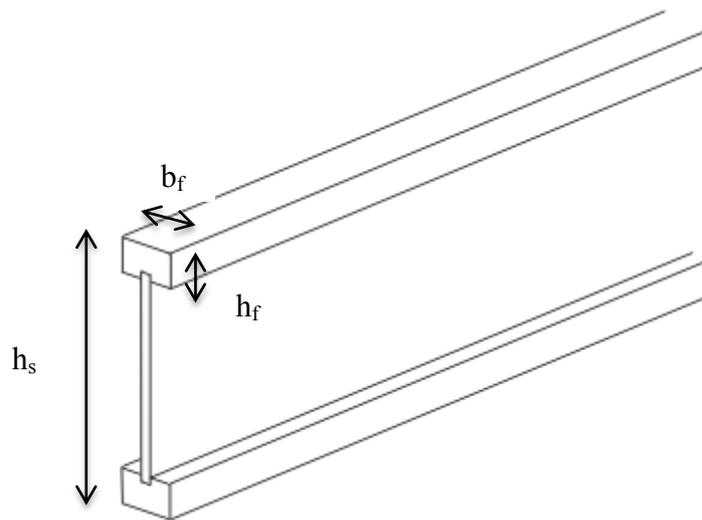


Figure 35: Schéma légendé d'une section de poutre en I

Une valeur non négligeable dans le dimensionnement est l'entraxe entre solive, nous le noterons e .

3.2. Calcul des efforts

3.2.1. Le poids propre g_k

En amont du calcul de cette valeur on référence tous les matériaux qui composent le plancher, puis on calcule la valeur de la force surfacique (en kN/m^2) totale sur le plancher. Ces deux étapes de calcul sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Composition Plancher			
Nom	Epaisseur (m)	Masse volumique (kN/m^3)	Masse surfacique (kN/m^2)
Parquet	0.008	0.39	0.00312
Chape	0.05	22	1.1
Isolant phon.	0.02	2.2	0.044
OSB3	0.022	6.5	0.143
Isolant therm.	0.2	0.55	0.11
Poutre en I			0.15
OSB3	0.015	6.5	0.0975
BA18	0.018	0.85	0.0153
Total			1.66

Tableau 3 : Calcul du poids propre du plancher

On a donc $g_k = 1,66 \text{ kN/m}^2$.

3.2.2. La charge d'exploitation q_k

Cette charge représente les utilisations faites du bâtiment durant sa durée de vie. Ici nous sommes en catégorie A (habitation, zone résidentielle) sur du plancher on a $q_{k,p} = 1,5 \text{ kN/m}^2$.

A partir du premier étage on remarque que le plancher en question supporte des cloisons légères (déplaçables au cours de la vie de l'ouvrage), pour pouvoir quantifier les efforts qu'elles induisent il faut faire un rapide calcul du poids propre de ces cloisons. Dans notre projet, elles ont pour hauteur 2 637 mm.

Nom	Epaisseur (m)	Masse volumique (kN/m ³)	Masse (kN/ml)
Isolant	0.05	0.4	0.05
BA 13	0.026	8.9	0.61
Total			0.66

Tableau 4 : Calcul du poids propre des cloisons en kN/ml

Comme $0,66 \text{ kN/ml} < 1 \text{ kN/m}$ on en déduit $q_{k,c} = 0,5 \text{ kN/m}^2$. Au final on obtient $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$.

3.3. Vérification à l'état limite ultime (ELU)

Deux combinaisons de charges sont à étudier ici :

- $Ed1 = 1,35 \cdot G_k$: sous charge permanente uniquement (le poids propres) ;
- $Ed1 = 1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k$: sous charge d'exploitation.

Les calculs relatifs aux différentes combinaisons sont résumés dans le tableau suivant :

		BM		OSB		$q_{z,d}(Ed)$ en kN/ml
		k_{mod}	γ_m	k_{mod}	γ_m	
Ed1	$1,35 \cdot G_k$	0.6	1.3	0.3	1.2	1.12
Ed2	$1,35 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_k$	0.8	1.3	0.55	1.2	2.62

Tableau 5: Calcul de la charge répartie sur la solive kN/ml

Pour les calculs, on a pris $e = 500 \text{ mm}$, $h_s = 300 \text{ mm}$, $h_f = 39 \text{ mm}$ et $h_f = 89 \text{ mm}$, ces dimensions correspondent à la gamme produit *Finnjoist* de *Metsäwood*.

Il faut vérifier les taux de travail (qui ne doivent pas dépasser 100%) pour des contraintes de flexion (pour la membrure haute comprimée, la membrure basse tendue, âme en flexion tendue et âme en flexion comprimée) et de cisaillement (le cisaillement roulant du joint et le cisaillement normal de l'âme). Ces résultats sont présentés sur le tableau suivant.

		Ed1	Ed2
FLEXION			
Membre supérieure			
Fibre extérieure	$\frac{\sigma_{f,c,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1$	26.88%	46.59%
Fibre moyenne	$\frac{\sigma_{f,c,d}}{f_{c,0,d} \cdot k_c} \leq 1$	33.22%	57.59%
Membre inférieure			
Fibre extérieure	$\frac{\sigma_{f,t,max,d}}{f_{m,d}} \leq 1$	26.88%	46.59%
Fibre moyenne	$\frac{\sigma_{f,t,d}}{f_{t,0,d}} \leq 1$	39.17%	67.89%
Flexion dans l'âme			
Fibre extérieure	$\frac{\sigma_{w,c,d}}{f_{c,w,d}} \leq 1$	21.29%	35.88%
	$\frac{\sigma_{w,t,d}}{f_{t,w,d}} \leq 1$	34.19%	57.62%
CISAILLEMENT			
Cisaillement roulant	$\frac{\tau_{mean,d}}{f_{v,90,d}} \leq 1$	21.29%	92.63%
Cisaillement normal	$\frac{F_{v,w,Ed}}{F_{v,w,Rd}} \leq 1$	34.19%	77.05%

Tableau 6 : Récapitulatif des taux de travaux d'une solive

Pour notre choix de dimensions, les résultats sont convenables aux ELU, il reste maintenant à les vérifier relativement aux états limites de service (ELS). Les feuilles de calculs sont disponibles en *Annexes*.

3.4. Vérification à l'état limite de service (ELS)

Nous nous intéressons aux flèches de la solive sous charges réparties, en particulier à l'amplitude maximale de la déformation de la solive et à la flèche sous charges variables uniquement. On considère deux combinaisons pour les calculs :

- $E_{dqp} = G_k + \psi_2 * Q_k$
- $E_{dc} = G_k + Q_k$

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant (le reste des calculs, faits en amont, seront dans les *Annexes*).

Vérification	
$W_{net,fin}$	15.17 mm
$l/200$	23.9 mm
Taux	63.46%
$W_{inst(Q)}$	4.73 mm
$l/300$	15.93 mm
Taux	29.71%

Tableau 7 : Récapitulatif des flèches avec leur vérification

On remarque que les taux sont acceptables, comme pour les ELU.

3.5. Conclusion et comparaison avec le logiciel du fabricant

Pour conclure cette partie, on constate que les dimensions choisies sont convenables relativement aux Eurocodes mais il nous est apparu intéressant de comparer nos résultats avec ceux du logiciel *Finnwood*.

Dans le logiciel, on commence par donner nos paramètres d'étude (structuraux et d'efforts) comme l'on peut le voir sur la *Figure 34*.

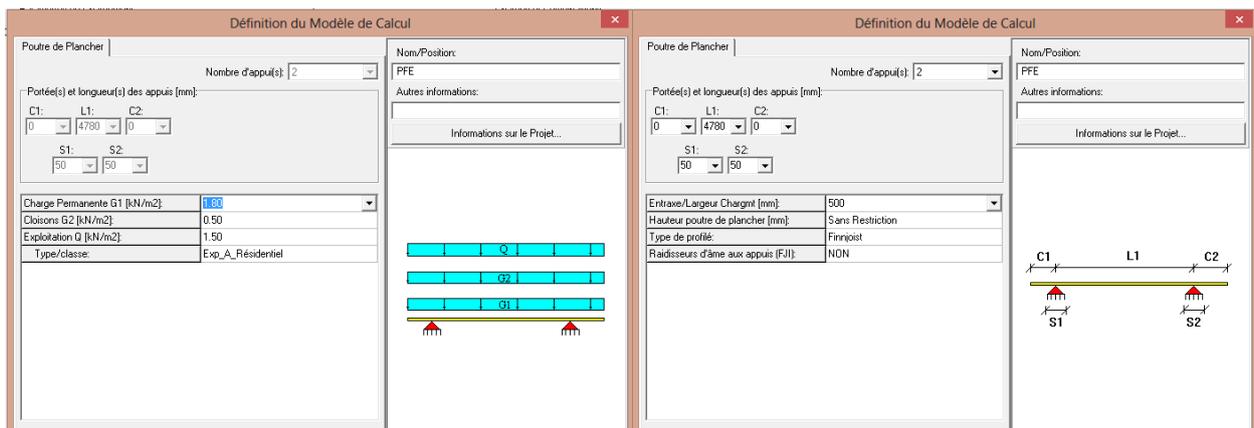


Figure 36 : Paramètres à donner au logiciel pour le calcul

Les résultats que le logiciel nous donne sont synthétisés dans le tableau suivant :

Vérification:	Actuel:	Vlr de Calcul:	% Vlr de Calcul:
Cisail. (y):	5.66 kN	9.06 kN	62.40%
Flexion (Mz):	7.82 kNm	16.86 kNm	46.40%
Portée 1, Utot,fin:	15.81 mm	19.12 mm	82.70%
Portée 1, Utot,inst:	10.18 mm	14.00 mm	72.70%

Tableau 8 : Synthèse des résultats donnés par le logiciel Finnwood

Les valeurs choisies se vérifient également ici (tous les taux sont inférieurs à 100%).

Par rapport à nos résultats, nous notons que : nous avons des valeurs supérieures pour les ELU et des valeurs inférieures pour les ELS. Ces différences peuvent s'expliquer par le fait que le logiciel ne prend pas les mêmes combinaisons que nous, en effet la combinaison dimensionnante ici est $E_d = 1.35 \cdot \text{Permanent} + 1.35 \cdot \text{Cloisons} + 1.50 \cdot \text{Exploitation}$ et non $E_d = 1.35 \cdot G_k + 1.5 \cdot Q_k$ ce qui diminue les taux de travaux pour les ELU.

La feuille de résultat est disponible en *Annexes*.

4. CALCUL DE CONTREVENTEMENT

4.1. Présentation et hypothèses

Dans cette partie de l'étude mécanique on réfléchit sur le comportement de la descente de charge horizontale (le vent). Pour ce calcul on incrémente 4 feuilles de calcul Excel, représentant les 4 étages. Les calculs seront donnés en *Annexes* (tiré de la feuille de calcul Excel pour le RDC).

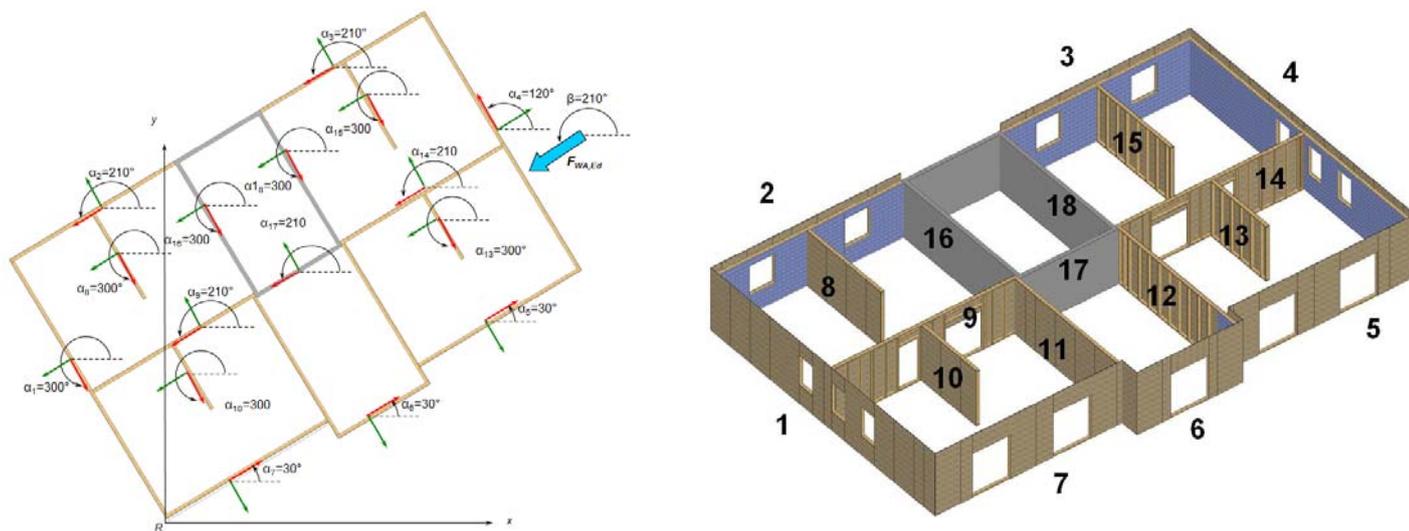


Figure 37 : Repérage des Modélisation des orientations des murs

Les indices représentent : Paroi S, mur M, panneaux P.

La difficulté, ici, est d'intégrer les murs en béton (16,17 et 18). L'effort de vent est appliqué sur le « pignon » du bâtiment. Les portions de murs comprenant des menuiseries extérieures ne sont pas prises en compte dans le calcul, les panneaux ayant une largeur inférieure au quart de leur hauteur sont également exclus du calcul.

Chaque mur est constitué d'un panneau OSB d'épaisseur 12 mm et des montants de sapin en C24 (45*145), l'assemblage de ces deux entités se fait grâce à des pointes de 2.1*55 (elles seront vérifiées dans la *partie 4.4*). Nos panneaux ont pour dimensions standards : 1196*2637 (hauteur sous plafond).

4.2. Raideurs des panneaux et des murs et position du centre de raideur

Pour commencer, on procède au calcul de toutes les raideurs de chaque système de mur, elles sont exprimées en kN/mm, la formule est donnée ci-dessous :

$$K_{p\ ref} = \left(\frac{2}{k_{ser,f} \cdot \left(b_p + \frac{h}{3}\right) + k'_{ser,f} \cdot \frac{h}{6}} + \frac{2 \times h^2}{k_{ser,f} \cdot b_p^2 \cdot \left(h + \frac{b_p}{3}\right)} \right)^{-1}$$

Avec $k_{ser,f}$ et $k'_{ser,f}$ les rigidités des coutures pour respectivement les montants périphériques et les montants intermédiaire. Avec cette formule on calcule la raideur de chaque panneau ayant des largeurs différentes. On déduit ensuite les coefficients d'équivalence C_{eq} .

$$C_{eqS,m,pi} = \frac{K_{S,m,pi}}{K_{p\ ref}}$$

Pour les parois en béton, on leur donne une raideur infinie (10^6 kN/mm).

Passons maintenant à la position du centre de raideur, on s'aide des coordonnées des parois (du point milieu, selon X et Y). On en déduit :

$$\begin{cases} x0 = 6511,10\ mm \\ y0 = 11713,82\ mm \end{cases}$$

4.3. Déplacement des systèmes de murs aux ELS

Il faut à présent considérer l'effort de vent arrivant sur la structure, dans le modèle *ACORD EXPRESS*, on peut avoir les efforts arrivant sur chaque étage, nous avons décidé de les sommer au fur et à mesure (on aura donc 4 feuille de calcul).

A partir la feuille précédente on ajoute les déplacements des étages situés en dessous.

$$\Delta n = \Delta n + \Delta n - 1$$

$$\text{On vérifie que } \Delta \leq \frac{h}{500} = \frac{2637}{500} = 5,3\ \text{mm.}$$

On synthétise les efforts et les taux de déplacements maximum pour chaque étage (le RDC étant le plus soumis aux déplacements) :

Etage	Effort de vent (en N)	Taux de déplacement max
3	11380	0,25%
2	45530	1,06%
1	102450	2,55%
0	182140	4,84%

Tableau 9 : Synthèse des calculs de déplacement

Les résultats paraissent faibles, les taux de déplacement attendus étant plutôt de l'ordre de 50%. Le problème vient peut-être de notre modélisation de mur béton.

4.4. Résistance des pointes

Comme précisé auparavant, nous prenons des pointes de 2,1*55, on regroupe les caractéristiques nécessaires au calcul dans le tableau qui suit :

pointes 2,1*55	
diamètre	2,1
longueur	55
f_u	600
$M_{v,Rk}$	1238,92
diamètre tête	3,15

Tableau 10 : Caractéristiques des pointes utilisées

On calcule ensuite les valeurs de $f_{h,k,1}$ et $f_{h,k,2}$, respectivement valeur résistance à l'enfoncement dans le panneaux d'OSB et le bois C24, pour en déduire le rapport β :

$$\beta = \frac{f_{h,k,2}}{f_{h,k,1}} = 0,56$$

Viens ensuite le calcul de la capacité résistante au cisaillement caractéristique $F_{f,v,Rk}$:

$$F_{f,v,Rk} = 475,90 \text{ N}$$

Le calcul total est donné en *Annexe*.

4.5. Vérification du voile travaillant

Dans cette dernière partie de l'étude du contreventement, on calcul les taux de travail $\frac{F_{v,Ed,mur}}{F_{v,Rd,S,m}}$.

Pour le RDC, l'étage le plus défavorable, on a au maximum un taux de travail de 11,99 %. Ce qui est relativement faible. Cette petite valeur est aussi soumise aux mêmes interrogations que pour les taux de déplacement.

Le calcul total est donné en *Annexe*.

5. BILAN DE L'ETUDE MECANIQUE

Pour conclure cette étude mécanique il est apparu que les résultats trouvés validaient les choix pris lors de la conception, il n'a donc pas fallu faire de modifications. En ce qui concerne les planchers, ce fut très instructif d'utiliser un logiciel fabricant pour comparer par rapport à un calcul « fait à la main ».

Cette étude reste néanmoins incomplète, en effet, les calculs du plancher des balcons et de la toiture ou de la descente de charges (avec les efforts chiffrés) auraient pu compléter nos calculs.

Il aurait aussi été intéressant de calculer les fondations en fonction des efforts induits par la descente de charges ou même la cage d'escalier béton.

- PARTIE 3 - ETUDE THERMIQUE

1. LA RT 2012

1.1. Description générale du programme

Le secteur du bâtiment est le plus gros consommateur d'énergie en France (42,5% de l'énergie finale totale) et génère 23% des émissions de gaz à effet de serre. La facture de l'énergie pèse lourdement sur le pouvoir d'achat des ménages, particulièrement sur les plus modestes d'entre eux. Ces dépenses tendent à augmenter avec la hausse du prix des énergies.

Aussi, afin de réduire durablement les dépenses énergétiques, le Grenelle Environnement a entrepris la mise en œuvre d'un programme de réduction des consommations énergétiques des bâtiments (articles 3 à 6 de la loi « Grenelle 1 » du 3 août 2009). Ce programme est aujourd'hui appelé RT 2012. Pour atteindre cet objectif, le plafond de $50\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2/\text{an}$, valeur moyenne du label «bâtiments basse consommation» (BBC), est devenue la référence dans la construction neuve. Ce saut permettra de prendre le chemin des bâtiments à énergie positive en 2020.

La réglementation thermique 2012, tout comme la RT 2005, exprime des exigences en énergie primaire, à ne pas confondre avec l'énergie finale. L'énergie finale (kWh_{EF}) est la quantité d'énergie disponible pour l'utilisateur final. L'énergie primaire (kWh_{EP}) est la consommation nécessaire à la production de cette énergie finale. Par convention, du fait des pertes liées à la production, la transformation, le transport et le stockage.

La RT 2012 est applicable à tous les permis de construire déposés à partir du 1^{er} janvier 2013 pour tous les autres bâtiments neufs à usage d'habitation (maisons individuelles ou accolées, logements collectifs, cités universitaires, foyers de jeunes travailleurs). Elle comporte trois exigences de résultats relatives à la performance du bâtiment. Elles portent sur la performance globale du bâtiment et non sur les performances des éléments constructifs et systèmes énergétiques pris séparément.

Pour résumer, ces indices de performance sont les suivants :

- L'indice «Bbio» permet de caractériser l'impact de la conception bioclimatique sur la performance énergétique du bâtiment. Une exigence d'efficacité énergétique minimale est introduite : le «Bbio» du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur maximale «Bbio_{max}».
- L'indice «Tic», propre au bâtiment, caractérise sa température intérieure conventionnelle. L'exigence relative au confort d'été est maintenue : le «Tic» du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur de référence «Tic_{ref}»
- L'indice «Cep», propre au bâtiment, caractérise sa consommation d'énergie primaire. La RT 2012 pose une exigence de consommation conventionnelle maximale d'énergie primaire du bâti: l'indice «Cep» du bâtiment considéré doit être inférieur à une valeur maximale «Cep_{max}».

1.2. Application au projet

Le projet initial, étudié par les élèves de l'école Centrale Lyon, respectait les normes imposées par la RT 2005. Cependant, dans un souci d'actualité, le bâtiment à ossature bois que nous concevons doit respecter les normes de la RT 2012. Cependant, nous ne maîtrisons pas encore complètement tous les indices de performance décrits dans la RT 2012. C'est pourquoi, dans le cadre de notre projet, nous prendrons uniquement en compte les indices Cep et Tic.

2. CONCEPTION THERMIQUE

2.1. Situation générale du bâtiment et hypothèses

Le projet initial situe le bâtiment dans la ville de La Rochelle (Charente-Maritime) qui a pour coordonnées : 46°09'36''Nord et 01°09'00''Ouest. Pour réaliser nos simulations sur la performance thermique de notre bâtiment, nous utilisons le logiciel *Pléiades+Comfie*® de l'éditeur *IZUBA Energies*®. En supposant que les balcons sont orientés vers le Sud, nous avons pris ce détail en compte dans nos simulations annuelles.

2.2. Choix des matériaux

2.2.1. En général

Pour ce qui est des matériaux, nous avons choisi des fournisseurs variés. Dans le cadre de la RT 2012, il a été nécessaire de choisir des matériaux qui concordent avec l'esprit de la réglementation : respectueux de l'environnement. Entre autres, la plupart des isolants utilisés pour ce bâtiment sont d'origine végétale et on ne peut faire l'impasse sur le fait que le bâtiment en question est totalement conçu en ossature bois à l'exception des fondations et de la cage d'escalier (prévue pour recevoir un éventuel ascenseur) qui sont en béton armé. En somme, on utilise à très grande échelle une ressource renouvelable : le bois et ses dérivés.

Tous les matériaux utilisés dans la construction sont des standards du marché dont certains sont spécialement conçus pour l'ossature bois. De plus, pour une meilleure inertie du bâtiment et donc un meilleur confort d'été, il a été décidé de couler des chapes liquides sur tous les niveaux en plus du noyau béton de la cage d'escalier.

2.2.2. Plus précisément

Isolation : La marque principale de nos choix d'isolation est Pavatex® qui propose des isolants en fibre de bois performants. Cependant, pour l'isolation phonique au niveau des murs intérieurs et des cloisons, il était plus judicieux d'utiliser de la laine de roche qui est plus dense que la laine de bois et c'est pourquoi la marque d'isolation phonique que nous avons choisi est Rockwool®. Ainsi, les références et détails de nos isolants sont les suivants :

Paroi	Utilisation	Référence	Conductivité thermique (en W/m.°K)	Dimensions Standards (en mm)		
				Epaisseur	Largeur	Longueur
Mur extérieur	Isolation thermique extérieure	Diffutherm	0,043	100	790	1300
	Isolation thermique intérieure	Pavaflex	0,038	140	575	1350
Mur de refend	Isolation phonique	Mbrock	0,034	145	565	1350
Cloison	Isolation phonique	Rockmur Kraft	0,037	60	600	1350
Plancher bas rez-de-chaussée	Isolation thermique	Pavatherm	0,038	140	600	1020
Plancher intermédiaire	Isolation thermique	Pavaflex	0,038	200	575	1350
	Isolation acoustique	Pavaboard	0,046	20	600	1020
Toiture	Isolation thermique	Pavaflex	0,038	200	575	1350
	Isolation thermique extérieure	Pavatherm-Forte	0,041	140	600	1020

Tableau 11 : Liste des isolants

Structure : Les caractéristiques des bois de structure sont présentées dans la partie « Conception » mais on peut tout de même préciser que la conductivité thermique de l'ossature en C24, du Kerto-S et de l'OSB est de 0,13 W/m.°K.

Parement intérieur : Le parement intérieur est fait en plaques de plâtre du fournisseur Placo® : Placoplatre® BA 13 de conductivité thermique 0.325 W/m.°K pour les murs et du Placoplatre® BA 18 pour les plafonds de conductivité thermique 0.36 W/m.°K. Ces deux produits sont des plaques de dimensions respectives 12.5x1200x2500 mm et 18x1200x2500 mm. Elles sont supportées par des rails métalliques de 22 mm d'épaisseur, ce qui permet d'avoir une lame d'air de la même dimension entre ces plaques et les éléments structurels sur lesquels sont fixés les rails.

Revêtement de sol : Pour alléger les planchers, nous avons choisi d'utiliser du parquet en bois massif de 10 mm d'épaisseur en guise de revêtement de sol.

2.3. Conception des parois

Lors de la conception des différentes parois du bâtiment, notre premier objectif était d'avoir des résistances thermiques élevées. Cependant, le point de vue que nous avons adopté était trop orienté vers la thermique du bâtiment. Nous avons donc pensé au confort thermique et acoustique des habitants en utilisant la chape liquide et les isolants rigide à forte densité.

Les différentes parois présentent des conceptions diverses et ont donc des résistances thermiques différentes mais utilisent toutes les mêmes références de matériaux. Elles sont composées comme suit :

Mur extérieur bois		
Élément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)
Crépi + grille support	10	0,01
Diffutherm	100	2,33
OSB	12	0,12
Pavaflex + ossature	145	3,68
Lame d'air + rails	22	0,16
BA 13	12,5	0,04
	304,5	6,34

Extérieur

Intérieur

Mur extérieur béton		
Élément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)
Crépi + grille support	10	0,01
Diffutherm	100	2,33
Béton armé	180	0,10
Lame d'air + rails	22	0,16
BA 13	12,5	0,04
	352,5	2,64

Extérieur

Intérieur

Mur de refend		
Élément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)
BA 13	12,5	0,04
Lame d'air + rails	22	0,16
OSB	12	0,12
Mbrock + ossature	145	4,25
Lame d'air + rails	22	0,16
BA 13	12,5	0,04
	229	4,62

Mur intérieur béton			
Elément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)	
BA 13	12,5	0,04	Cage d'escalier
Lame d'air + rails	22	0,16	
Béton armé	180	0,10	Appartement
Pavaflex + rails	140	3,68	
BA 13	12,5	0,04	
	367	4.02	

Cloison		
Elément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)
BA 13	12,5	0,04
Rockmur Kraft + rails	62	1,6
BA 13	12,5	0,04
	87	1,68

Plancher bas rez-de-chaussée			
Elément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)	
Parquet	10	0,04	Appartement
Chape liquide	50	0,04	
Pavatherm	140	3,33	Cave
Béton armé	180	0,10	
Lame d'air + rails	22	0,16	
BA 13	12,5	0,04	
	414,5	3,71	

Plancher intermédiaire			
Elément	Épaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)	
Parquet	10	0,04	Appartement
Chape liquide	50	0,04	
Pavaboard	20	0,43	Cave
OSB	22	0,17	
I-Joist + Pavaflex (200 mm)	300	5,26	
Lame d'air + rails	22	0,16	
BA 18	18	0,05	
	442	6,15	

Toiture		
Elément	Epaisseur (mm)	Résistance thermique (m ² .°K/W)
Pavatherm-Forte	140	3,26
OSB	22	0,17
I-Joist + Pavaflex (200 mm)	300	5,26
Lame d'air + rails	22	0,16
BA 18	18	0,05
	372	8,90

Extérieur



intérieur

2.4. Jonctions des parois et pont thermiques

2.4.1. Les ponts thermiques

Les jonctions entre les différents types de parois ont été choisies pour avoir le minimum de pont thermique. Néanmoins, leur mise en œuvre est complètement réalisable puisque ce sont des jonctions de parois assez courantes dans l'industrie de maison à ossature bois.

Le seul inconvénient rencontré est celui de la jonction entre le mur extérieur et le balcon/plancher intermédiaire. En effet, malgré la présence de sur-isolation entre les solives du balcon qui atténue le pont thermique, ce dernier est tout de même existant et contribue à l'augmentation des besoins en chauffage. Ce pont thermique particulier respecte malgré tout la RT 2012 qui impose pour ce type de jonction une valeur maximale de $\Psi=0,6$ W/m.°K tandis que notre pont thermique a une valeur de comprise entre 0,10 et 0,20 W/m.°K.

Pour résumer, un récapitulatif des différentes valeurs de Ψ (Psi) est proposé dans le tableau suivant :

Pont thermique	Ψ (Psi) (W/m.°K)
Angle rentrant	0,05
Angle sortant	0,1
Mur extérieur/dalle béton	0,15
Mur de refend/dalle béton	0,1
Mur extérieur/plancher intermédiaire (estimé)	0,15
Mur extérieur/mur de refend	0,07
Mur extérieur/toiture	0,09
Mur de refend/toiture	0,08

Tableau 11 : Ponts thermiques

2.4.2. Les jonctions

Les différentes jonctions entre les parois sont détaillées sur les schémas en *Annexes*. Le pare-vapeur est représenté par les lignes rouges.

2.5. Choix des menuiseries

Les menuiseries du bâtiment ont été choisies dans un catalogue prédéfini du logiciel *Pléiades+Comfie*®. Elles ont été choisies pour minimiser les ponts thermiques et pour laisser passer le maximum de lumière et d'apports solaire en chauffage dans le cas des menuiseries extérieures. C'est pourquoi on utilise essentiellement des menuiseries extérieures à triple vitrage.

Menuiserie	Caractéristiques	Dimensions Standards (en mm)		
		Epaisseur	Largeur	Hauteur
Porte intérieure bois	Pleine	45	1000	2100
Petite fenêtre	Triple vitrage	-	800	1400
Grande fenêtre	Triple vitrage	-	1200	1400
Porte-fenêtre	Triple vitrage	-	1800	2100

Tableau 12 : Menuiseries

Les valeurs des différents ponts thermiques au niveau des menuiseries extérieures sont représentées dans le tableau ci-dessous :

Pont thermique	Ψ (Psi) (W/m.°K)
Appui	0,39
Linteau	0.04
Montant	0,04

Tableau 13 : Ponts thermiques des menuiseries

2.6. Scénarios

2.6.1. Ventilation

Le scénario de ventilation principal est le même pour toutes les pièces du bâtiment. Il s'agit ici d'une ventilation mécanique contrôlée (VMC) à double flux dont l'efficacité est de 0.85 (moyenne actuelle) et équipée d'un bypass (permet de prélever de l'air à l'extérieur du bâtiment sans le faire passer par l'échangeur, en été par exemple). Ce scénario est prévu pour un débit de renouvellement de l'air de 0.29 volume/heure.

Un scénario de surventilation nocturne est prévu pendant les périodes chaudes d'été (du 4 juin au 30 septembre) pour rafraîchir le bâtiment avec un débit de renouvellement de l'air de 2 volumes/heure.

2.6.2. Occupation

Comme scénario d'occupation, nous avons choisi des ménages de 4 personnes pour les appartements familiaux et des ménages d'une personne pour les studios. Il est supposé que chaque occupant apporte une chaleur métabolique de 80W et que ces occupants ne sont pas présents dans le bâtiment du lundi au vendredi de 9h à 17h.

2.6.3. Chauffage et rafraîchissement

Pour ce qui est du chauffage, il a été prévu que la consigne générale de température soit de 19°C pour les pièces de vie sauf du lundi au vendredi de 9h à 17h où cette consigne se retrouve à 16°C. Les salles de bains et autres salles d'eau ont comme consigne de température 15°C en permanence.

Le scénario de rafraîchissement principal est de refroidir toutes les pièces à 27°C quand leur température dépasse ce seuil qui est la température limite d'inconfort.

2.6.4. Puissance dissipée et infiltrations

La RT 2012 précise une infiltration d'air maximale de 1 volume/heure pour les logements collectifs. Dans nos simulations, nous prendrons comme valeur cette valeur limite et une valeur optimale de 0,1 volume/heure (moyenne allemande).

Le scénario de puissance dissipée a été choisi dans le catalogue RT 2012 du logiciel de simulation qui se présente à 1,14W/m² de 22h à 4h et pendant les périodes d'inoccupation et à 5,70 W/m² le reste du temps en supposant que les allées et venues des habitants font fortement augmenter ces infiltrations.

2.6.5. Occultation

L'occultation des menuiseries extérieures est supposée se faire totalement de 5h à 21h pendant la période estivale pour garder la fraîcheur dans le bâtiment.

3. RESULTATS

Nos premières simulations nous donnent des résultats décevants en ce qui concerne les besoins en chauffage et le taux d'inconfort par rapport à la température. En effet, nos premiers besoins en chauffage s'élevaient à 1 kWh/m² et paraissent donc peu réalistes. Tandis que le taux d'inconfort moyen s'élevait à 7,53%, ce qui correspond à environ 28 jours/an contre 5 jours/an selon la RT 2012.

En améliorant les scénarios de ventilation, de rafraîchissement et d'occultation, on obtient des résultats satisfaisants. En effet, sur une base d'infiltration d'air de 1 volume/heure, on obtient des besoins en chauffage de 34 kWh/m², un taux d'inconfort moyen de 0,52% (2 jours/an) et une température moyenne de $T_{ic}=19,27^{\circ}\text{C}$. Ainsi, en considérant un besoin moyen en électricité de 0,17 kWh/m² et un besoin moyen en eau chaude sanitaire de 4,12 kWh/m² (valeurs basées sur des moyennes nationales), on a un **besoin total en énergie primaire de $C_{ep}=38,29$ kWh/m²**. Notre bâtiment respecte donc bien les critères de la RT 2012. Cependant, on peut réduire cette valeur jusqu'à 7,29 kWh/m² en prenant comme référence une infiltrométrie moyenne de 0,1 volume/heure. On obtient ainsi un taux d'inconfort moyen de 0,18% soit un total de 16h/an.

- PARTIE 4 - METRE ET ETUDE DE PRIX

Dans cette dernière partie de l'étude, on s'intéresse aux matériaux utilisés pour la conception de l'ouvrage, d'un point de vue quantitatif et de chiffrage.

1. HYPOTHESES

Nous nous limiterons ici à la quantification et à l'étude de prix des fournitures, il n'y aura pas d'étude sur la pose, en effet les coûts et marges (de main d'œuvre par exemple) varient d'une entreprise à une autre.

La marge appliquée sur la quantité d'un matériau est de 10%, elle est due aux pertes éventuelles sur chantier.

Les prix seront donnés HT et TTC mais il ne faut pas oublier que la TVA peut varier d'une année sur l'autre, cette année la TVA est à 20%. Nous nous baserons, pour chaque fourniture, sur les prix donnés par les fabricants ou les fournisseurs. Le métré et l'étude de prix ne comprennent pas la quincaillerie.

L'avantage de notre projet réside en grande partie dans les symétries qui le compose, cette composante va nous permettre de grandement simplifier le calcul : il faudra quantifier les matériaux qui sont présents sur un étage ou sur un plancher par exemple. Pour le métré on utilisera le logiciel *CadWork*.

Dans le rapport on ne détaillera que le métré et l'étude de prix des planchers intermédiaires et des étages, le reste (le plancher bas béton, les acrotères, la toiture et les balcons) sera donné en *Annexes*.

2. CALCUL SUR UN ETAGE

Le calcul est séparé en 3 parties : les matériaux relatifs à la structure, à l'étanchéité/isolation et aux parements.

Structure	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Ossature	Sapin C24	6,95	0,695	7,645	m ³	457,13 €	3 494,76 €
Contreventement	OSB 3 1196*3000	410	41	451	m ²	6,00 €	2 706,00 €
Linteau	Kerto S 200*45	25,91	2,591	28,501	ml	15,00 €	427,52 €

		Total HT	6 628,27 €
TVA	20,00%	Total TTC	7 953,93 €

Tableau 14: Calcul des matériaux de structure sur un étage

- PARTIE 4 - METRE ET ETUDE DE PRIX

Isolation / Etanchéité	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Panneaux ITE	Pavatex Diffutherm e=100	173	17,3	190,3	m ²	34,85 €	6 631,96 €
Isolant intérieur	Pavaflex e=140	173	17,3	190,3	m ²	24,08 €	4 582,42 €
Pare-vapeur	Kerto S 200*45	173	17,3	190,3	ml	2,00 €	380,60 €
Isolant intérieur (mur de refend)	MB Rock	125	12,5	137,5	m ²	4,67 €	642,13 €

		Total HT	12 237,10 €
TVA	20,00%	Total TTC	14 684,52 €

Tableau 15: Calcul des matériaux d'isolation et d'étanchéité sur un étage

Parement	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Intérieur	Placoplatre BA 13	410	41	451	m ²	3,00 €	1 353,00 €
Extérieur	Crépis	173	17,3	190,3	m ²	30,00 €	5 709,00 €

		Total HT	7 062,00 €
TVA	20,00%	Total TTC	8 474,40 €

Tableau 16: Calcul des matériaux d'isolation et d'étanchéité sur un étage

On constate que le lot d'isolation et d'étanchéité est le plus couteux par rapport au deux autres lot.

On en déduit le prix total des 4 étages dans le tableau suivant :

Etage	Immeuble	
25 927,38 €	103 709,51 €	HT
31 112,85 €	124 451,41 €	TTC

Tableau 17 : Coût total des quatre étages

3. CALCUL SUR UN PLANCHER INTERMEDIAIRE

- PARTIE 4 - METRE ET ETUDE DE PRIX

Le calcul est séparé en 3 parties : les matériaux relatifs à la structure, à l'étanchéité/isolation et aux parements.

Structure	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Solivage	Finnjoist 89*300	477	47,7	524,7	ml	10,00 €	5 247,00 €
Dalle	OSB 3 675*2500*22	288	28,8	316,8	m ²	11,00 €	3 484,80 €
Lisse de chainage	Sapin C24	0,79	0,079	0,869	m ³	457,13 €	397,25 €
Lisse Lamibois	Kerto S 300*45	25,91	2,591	28,501	ml	19,40 €	552,92 €
Panneaux de retenue	OSB 3 ep=15	117	11,7	128,7	m ²	6,00 €	772,20 €

		Total HT	10 454,17 €
TVA	20,00%	Total TTC	12 545,00 €

Tableau 18 : Calcul des matériaux de structure sur un plancher intermédiaire

Isolation / Etanchéité	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Isolant phonique	Pavaboard e=20	288	28,8	316,8	m ²	5,35 €	1 694,88 €
Isolant entre solivage	Pavaflex e=200	288	28,8	316,8	m ²	34,40 €	10 897,92 €
Chape	22	288	28,8	316,8	m ²	22,00 €	6 969,60 €

		Total HT	19 562,40 €
TVA	20,00%	Total TTC	23 474,88 €

Tableau 9 : Calcul des matériaux d'isolation et d'étanchéité sur un plancher intermédiaire

- PARTIE 4 - METRE ET ETUDE DE PRIX

Parement	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT	
Supérieur	Parquet flottant	288	28,8	316,8	m ²	35,00 €	11 088,00 €	
Inférieur	Placoplatre BA 18	288	28,8	316,8	m ²	7,00 €	2 217,60 €	
						Total HT	13 305,60 €	
					TVA	20,00%	Total TTC	15 966,72 €

Tableau 10 : Calcul des matériaux de parement sur un plancher intermédiaire

Le constat est le même que pour les calculs relatifs à un étage : le lot d'isolation et d'étanchéité est le plus coûteux.

On en déduit le prix total des 4 étages dans le tableau suivant :

Etage	Immeuble	
44 801,62 €	134 404,86 €	HT
53 761,95 €	161 285,84 €	TTC

Tableau 11 : Coût total des planchers intermédiaires

Le prix total sur le bâtiment entier est plus élevé pour les planchers intermédiaires (qui sont au nombre de trois) que pour les étages.

4. COUT TOTAL

Une fois toutes les différentes parties du bâtiment étudiées, on conclut sur le prix total (HT et TTC), représenté dans le tableau suivant :

Partie	Cout HT	Cout TTC	
Etage	103 709,51 €	124 451,41 €	
Plancher intermédiaire	129 966,50 €	155 959,80 €	
Toiture	41 257,69 €	49 509,22 €	
Acrotère	5 768,46 €	6 922,16 €	
Plancher bas béton	27 720,00 €	33 264,00 €	
Balcon	73 470,16 €	88 164,19 €	
	381 892,31 €	458 270,78 €	Total

Tableau 12 : Cout total de a fourniture

Soit un prix au m² de **397,80 €/m²** rien que pour la fourniture (TTC), à ce prix il faut rajouter le prix de la main d'œuvre et de la quincaillerie.

CONCLUSION

Au travers de ce projet de fin d'étude, nous avons pu voir tous les aspects qui composent l'étude globale d'un bâtiment en partant de la conception en passant par le dimensionnement mécanique et thermique et pour finir sur le chiffrage. Ces différents domaines ont présentés leurs lots de difficultés : il a fallu émettre des hypothèses et faire des choix notamment en ce qui concerne les solutions employées dans l'étude thermique afin de respecter au mieux les exigences de la RT 2012.

Malgré un planning rigoureux (temps limité), ce projet s'est avéré être très formateur pour nous, la variété des domaines visités est importante. Nous avons assuré un minimum d'études dans chacun de ses domaines, pour délivrer rapport d'étude le plus proche de ce qui se fait actuellement dans la construction à ossature-bois.

Nous espérons que ce projet représente le début d'une collaboration entre l'ENSTIB et l'Ecole Centrale Lyon et que nous pourrions dialoguer à propos de cette étude avec les étudiants concernés.

Enfin, nous pouvons dire que les diverses démarches, recherches et études faites au cours de ces 2 mois et demi furent importante en vue de notre stage de fin d'étude et notre projet professionnel.

BIBLIOGRAPHIE

1. BENOIT, Yves. *La maison à ossature bois par les schémas*, 2013.
2. BOCQUET, Jean-François. *Justification des planchers résidentiels*, 2009.
3. OLIVIA, Jean-Pierre. *L'isolation thermique écologique, Conception, matériaux, mise en œuvre*, 2010.
4. FORET CELLULOSE BOIS-CONSTRUCTION AMEUBLEMENT, <http://www.fcba.fr/>
5. CATALOGUE CONSTRUCTION BOIS, <http://www.catalogue-construction-bois.fr/>
6. PAVATEX, VOTRE SPECIALISTE EN ISOLATION, <http://www.pavatex.fr/fr/page-daccueil/>
7. CONSULTANT EXPERT FORMATION A LA CONSTRUCTION PASSIVE, <http://passivhaus.fr/26.html>
8. SOLUTION CHAPE, <http://www.solution-chapes.fr/>
9. METSAWOOD, <http://www.metsawood.fr/>
10. MINISTERE DE L'ECOLOGIE, DU DEVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ENERGIE, <http://www.developpement-durable.gouv.fr/>
11. LEROY MERLIN, <http://www.leroymerlin.fr/>
12. COMITE NATIONAL POUR LE DEVELOPPEMENT DU BOIS, <http://www.cndb.org/>
13. ENCYCLOPEDIE INTERACTIVE SUR L'HABITAT DURABLE, <http://www.acqualys.fr/>

ANNEXES

ILLUSTRATION ORGANES DE FIXATIONS



Figure 38 : goujon d'ancrage



Figure 39 : Equerre d'ancrage



Figure 40 : Equerre de fixation



Figure 41 : Tire-fond



*Figure 42 : Pointes 55*2,1*

PLANS 2D ET VUES 3D

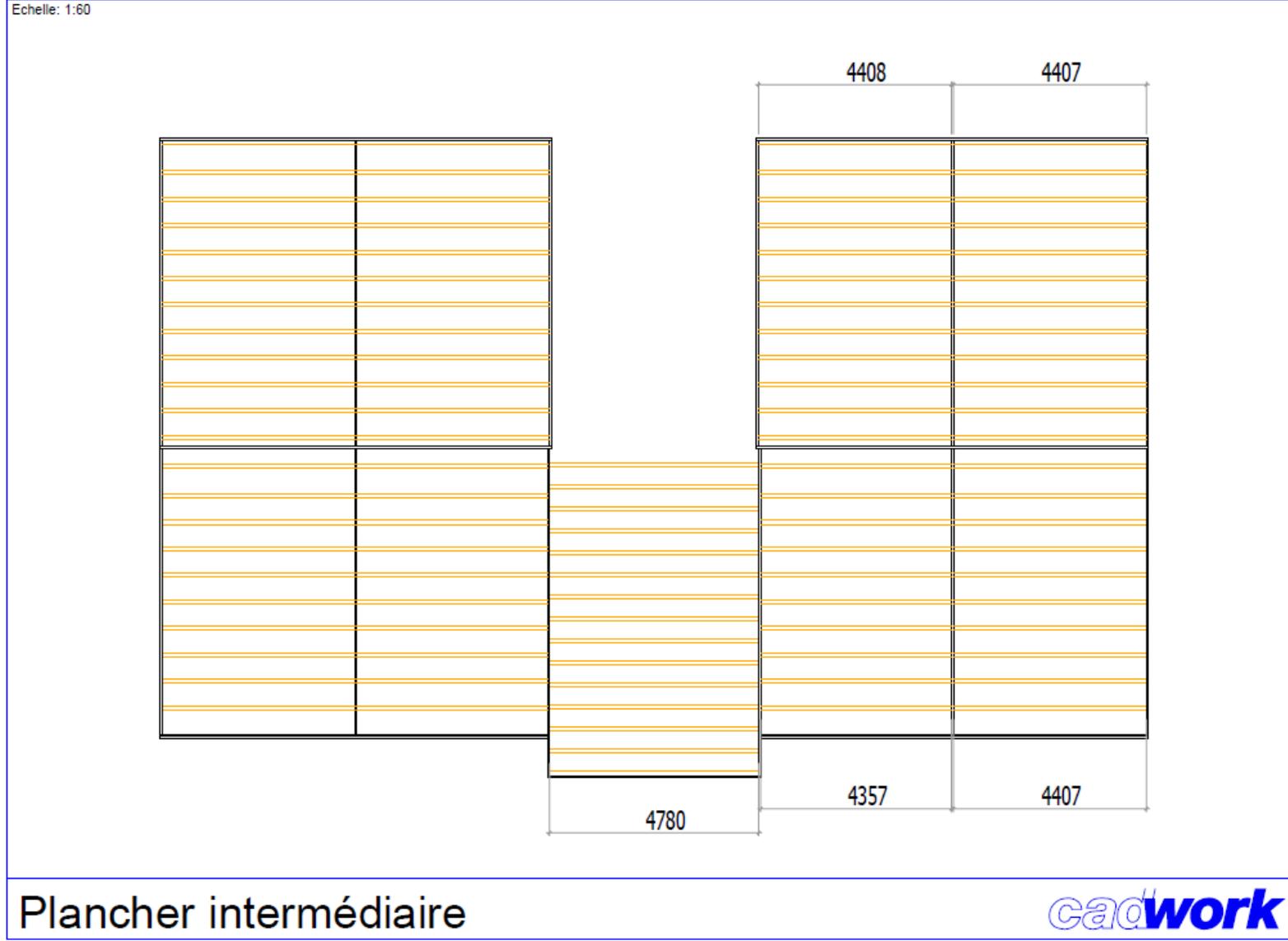


Figure 43 : Plan courant d'un plancher intermédiaire

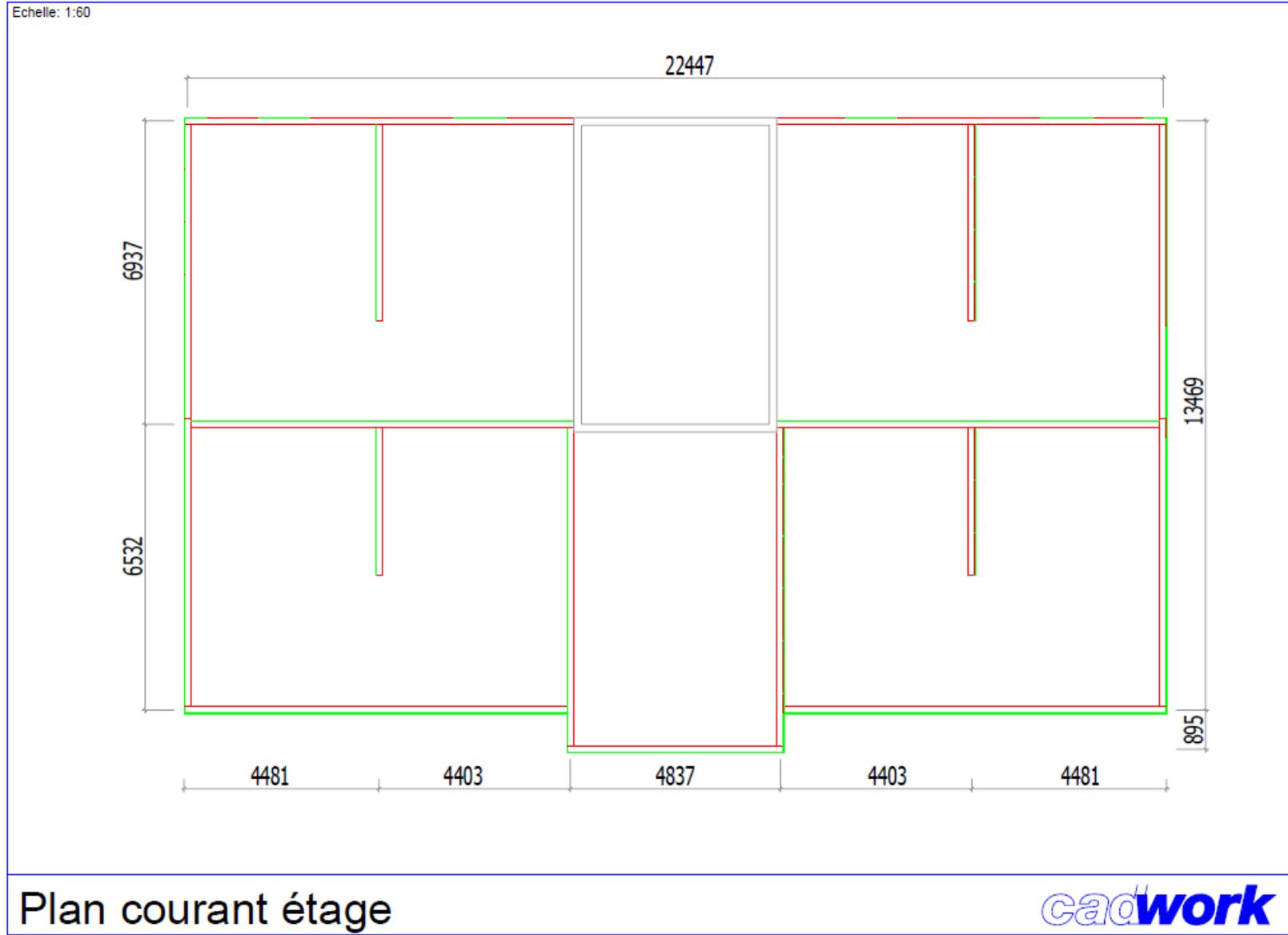


Figure 44 : Plan courant d'un étage



Figure 45 : Vue 3D du bâtiment



Figure 46 : Vue 3D du bâtiment (2)

CALCUL POUTRE EN I, ELU ET ELS

FLEXION	Combinaison Ed1		
Inertie effective (hf,t=hf,c=h)	If	1,23E+08	mm ⁴
	Iw	1,64E+07	mm ⁴
	Ief(Ed1)	1,27E+08	
Membrure haute comprimée	$\sigma_{f,c,max,d}(Ed1)$	2,29	Mpa
	coeff de hauteur kh	1,27	
	$f_{m,d}(Ed1)$	14,09	Mpa
	Taux de travail	16,2%	
	$\sigma_{f,c,d}(Ed1)$	1,95	Mpa
	$f_{c,0,d}$	9,69	Mpa
	Taux de travail	20,08%	
Membrure basse tendue	$\sigma_{f,t,max,d}(Ed1)$	2,29	Mpa
	$f_{m,d}(Ed1)$	14,09	Mpa
	Taux de travail	16,25%	
	$\sigma_{f,c,d}(Ed1)$	1,95	Mpa
	$f_{t,0,d}$	8,22	Mpa
	Taux de travail	23,68%	
Ame en flexion comprimée	$\sigma_{w,c,d}(Ed1)$	0,51	Mpa
	$f_{c,0,d}$	3,98	Mpa
	Taux de travail	12,87%	
Ame en flexion tendue	$\sigma_{w,t,d}(Ed1)$	0,51	Mpa
	$f_{t,0,d}$	2,475	Mpa
	Taux de travail	20,67%	

CISAILLEMENT

Cisaillement roulant sur joint	ms	474638	mm ³
	$\tau_{mean,d}(Ed1)$	0,11	Mpa
	bef	5	mm
	$f_{v,90,d}(Ed1)$	0,23	Mpa
	Taux de travail	47,18%	
Cisaillement normal à l'âme	Risque de flamb ?	Non	
	$F_{v,w,Ed}=V_{z,d}(Ed1)$	1723	N
	$F_{v,w,Rd}$	4335	N
	Taux de travail	39,74%	

Tableau 24: Détail de calcul aux états limite ultimes pour la combinaison Ed1

Combinaison Ed2

hf	45	
If	1,23E+08	mm ⁴
Iw	1,64E+07	
Ief(Ed2)	1,28E+08	mm ⁴
of,c,max,d(Ed2)	6,70	
coeff de hauteur kh	1,27	Mpa
fm,d(Ed2)	18,79	
Taux de travail	35,68%	Mpa
of,c,d(Ed1)	5,70	
fc,0,d	12,92	Mpa
Taux de travail	44,09%	Mpa
of,t,max,d(Ed1)	6,70	
fm,d(Ed1)	18,79	Mpa
Taux de travail	35,68%	Mpa
of,c,d(Ed1)	5,70	
ft,0,d	10,96	Mpa
Taux de travail	51,98%	Mpa
σw,c,d(Ed1)	2,00	
fc,o,d	7,29	Mpa
Taux de travail	27,47%	Mpa
σw,t,d(Ed1)	2,00	
ft,o,d	4,54	Mpa
Taux de travail	44,12%	Mpa

ms	474638	mm ³
τmean,d(Ed1)	0,31	Mpa
bef	5	mm
fv,90,d(Ed1)	0,42	Mpa
Taux de travail	75,34%	
Risque de flamb ?	Non	
Fv,w,Ed=Vz,d(Ed1)	5098	N
Fv,w,Rd	7948	N
Taux de travail	64,14%	

Tableau 13 : Détail de calcul aux états limite ultimes pour la combinaison Ed2

Quasi-permanente		$E_{dqp} = G_k + \psi_2 * Q_k$
	ψ_2	0,3
Charge linéique	$q_z(E_{dqp})$	0,87 kN/ml
Inertie effective	I_{ef}	1,36E+08 mm ⁴
Section reduite	S'	2700 mm ²
Flèche fluage	$w_{creep}(E_{dqp})$	4,17 mm

Caractéristique		$E_{dc} = G_k + Q_k$
Charge linéique	$q_z(E_{dc})$	1,57 kN/ml
Inertie effective	I_{ef}	1,30E+08 mm ⁴
Flèche instantannée	$w_{inst}(E_{dc})$	6,03 mm

Vérification	
$w_{net,fin}$	10,20 mm
$l/200$	22,5 mm
Taux	45,34%
$w_{inst}(Q)$	3,85 mm
$l/300$	15,00 mm
Taux	25,67%

Tableau 26: Détail de calcul aux états limite de service

CALCUL DE CONTREVENTEMENT (POUR LE RDC)

La largeur du panneau de référence 1196 mm

Structure des panneaux de mur

Bois d'ossature:	$\rho_{m,bois}(kg/m^3)$	Hauteur	145
	C24	420	épaisseur

Panneaux de contreventement:

	épaisseur (mm)	$\rho_{m,panneau}(kg/m^3)$
OSB	12	620

Type de fixation:

	entreaxe de clouage			
	diamètre (mm)	longueur (mm)	rive (mm)	intermédiaire (mm)
pointes	2,1	55	150	300

Masse volumique équivalente des deux matériaux composant la paroi:

$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,bois} \times \rho_{m,panneau}}$	$\rho_m (kg/m^3)$
	510,29

La raideur de cisaillement d'une agrafe est égale à:

$K_{ser} = \rho_m^{1,5} \times d^{0,8} / 30$	$K_{ser} (N/mm)$
	695,64

Les rigidités de coutures peuvent sont déterminées par:

$k_{ser,f} = \frac{K_{ser}}{\text{entreaxe clouage}}$	$k_{ser,f} \text{ (rive)}$	4,64 N/mm/mm
	$k'_{ser,f} \text{ (intermédiaire)}$	2,32 N/mm/mm

La raideur du mur de référence peut maintenant être obtenue par:

$K_{p,ref} = \left(\frac{2}{k_{ser,f} \cdot \left(b_p + \frac{h}{3} \right) + k'_{ser,f} \cdot \frac{h}{6}} + \frac{2 \times h^2}{k_{ser,f} \cdot b_p^2 \cdot \left(h + \frac{b_p}{3} \right)} \right)^{-1}$

Avec
h la hauteur du panneaux;
 et *b_p* la largeur du panneau

<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)
2637	1196

$K_{p ref} = 1138,23$ N/mm

<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>1184</td> </tr> </table> <p>$K_p = 1117,89$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	1184	<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>800</td> </tr> </table> <p>$K_p = 543,23$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	800
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	1184								
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	800								
<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>1000</td> </tr> </table> <p>$K_p = 822,99$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	1000	<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>799</td> </tr> </table> <p>$K_p = 541,95$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	799
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	1000								
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	799								
<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>896</td> </tr> </table> <p>$K_p = 671,76$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	896	<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>690</td> </tr> </table> <p>$K_p = 410,16$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	690
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	896								
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	690								
<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>892</td> </tr> </table> <p>$K_p = 666,19$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	892	<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>670</td> </tr> </table> <p>$K_p = 387,69$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	670
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	892								
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	670								
<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>883</td> </tr> </table> <p>$K_p = 653,71$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	883	<table border="1"> <tr> <td><i>h</i> (mm)</td> <td><i>b_p</i> (mm)</td> </tr> <tr> <td>2637</td> <td>687</td> </tr> </table> <p>$K_p = 401,22$ N/mm</p>	<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)	2637	687
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	883								
<i>h</i> (mm)	<i>b_p</i> (mm)								
2637	687								

$$C_{eqS,m,pi} = \frac{K_{S,m,pi}}{K_{p ref}}$$

C _{eq,S,m,P}	Largeur panneau de référence										
	670	687	690	799	800	883	892	896	1000	1184	1196
670	1,00	0,97	0,95	0,72	0,71	0,59	0,58	0,58	0,47	0,35	0,341
687	0,00	1,00	0,98	0,74	0,74	0,61	0,60	0,60	0,49	0,36	0,352
690	0,00	0,00	1,00	0,76	0,76	0,63	0,62	0,61	0,50	0,37	0,360
799	0,00	0,00	0,00	1	1,00	0,83	0,81	0,81	0,66	0,48	0,476
800	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,83	0,82	0,81	0,54	0,49	0,477
883	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,98	0,97	0,79	0,58	0,574
892	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,99	0,81	0,60	0,585
896	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,82	0,60	0,562
1000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,74	0,723
1184	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1	0,982
1196	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,000

Raideurs des systèmes de murs

$$K_S = \sum_m K_{S,m} = \sum_m \sum_p K_{S,m,p} = K_{p\text{ ref}} \sum_m \sum_p C_{eq\ S,m,p}$$

avec

$$C_{eq\ S} = \sum_m C_{eq\ S,m} = \sum_m \sum_p C_{eq\ S,m,p}$$

$$K_{p\text{ ref}} = K_{S,m,p(1196)}$$

Tableau des coefficients d'équivalence pour chaque paroi:

Système de murs	C _{eq S}	K
1	7,44	8463,77
2	4,56	5192,25
3	4,56	5192,25
4	7,44	8463,77
5	3,46	3937,59
6	2,00	2276,47
7	3,46	3937,59
8	3,59	4080,89
9	4,48	5094,88
10	2,59	2942,66
11	4,91	5594,34
12	4,91	5594,34
13	2,59	2942,66
14	4,48	5094,88
15	3,59	4080,89
16	878,55	1000000,00
17	878,55	1000000,00
18	878,55	1000000,00
Kpref	1138,23	

Système de murs	coordonnées d'un point de la paroi		α (deg)	γ (deg)	d'_n	raideur K_s	d_n
	x	y					
1	-3420	5940	300	390	8	8464	11217,50
2	-2930	14060	210	300	-13641	5192	7220,05
3	8870	14060	210	300	-7741	5192	1320,05
4	16160	17160	120	210	-22575	8464	11349,28
5	15720	9120	30	120	38	3938	6383,11
6	10230	4900	30	120	-871	2276	7292,74
7	4100	2400	30	120	28	3938	6392,80
8	-2570	8420	300	390	1984	4081	9241,38
9	600	8100	210	300	-6715	5095	293,54
10	1380	6430	300	390	4410	2943	6815,58
11	6200	6860	300	390	8799	5594	2426,34
12	10560	9400	300	390	13845	5594	-2619,54
13	13780	13090	210	300	-4446	2943	-1974,99
14	12280	14840	300	390	18055	5095	-6829,10
15	10140	20820	300	390	19191	4081	-7965,80
16	2680	13250	300	390	8946	1000000	2279,75
17	6520	11210	210	300	-6448	1000000	26,88
18	6690	15400	300	390	13494	1000000	-2268,02

a = 1790380

b = 439829

c = 1282509

d = 16571923688

e = 17194304002

$\gamma_i = \alpha_i + 90$

$x \times \cos \gamma_i + y \times \sin \gamma_i - d'_{n,S} = 0 \Rightarrow d'_{n,S} = x \times \cos \gamma_i + y \times \sin \gamma_i$

$x_o \times \cos \gamma_s + y_o \times \sin \gamma_s - d'_s = d_{n,S}$

$$a = \sum_s K_s \times \cos^2 \gamma_s;$$

$$b = \sum_s K_s \times \cos \gamma_s \times \sin \gamma_s;$$

$$c = \sum_s \sum_p K_s \times \sin^2 \gamma_s$$

$$d = \sum_s K_s \times \cos \gamma_s \times d'_{n,S}$$

$$e = \sum_s K_s \times \sin \gamma_s \times d'_{n,S}$$

$F_{W,A,Ed} =$	182140
$x_W =$	16160
$y_W =$	17160

$d_{W,x}$ et $d_{W,y}$ avec $d_{W,x} = x_W - x_o$ et $d_{W,y} = y_W - y_o$

$$C_1 = \sum_s \sum_m \sum_p C_{eqS,m,p} \times \cos^2 \alpha_{S,m,p}$$

$$C_2 = \sum_s \sum_m \sum_p C_{eqS,m,p} \times \sin \alpha_{S,m,p} \times \cos \alpha_{S,m,p}$$

ANNEXES

$d_{w,x} =$	9648,90	
$d_{w,y} =$	5986,18	
$\beta =$	210	
$C1 =$	1126,75315	
$C2 =$	386,413503	
$C3 =$	1572,94503	$C_3 = \sum_S \sum_m \sum_p C_{eq\ S,m,p} \times \sin \alpha_{S,m,p}^2$
$C4 =$	138,581186	$C_4 = \frac{(F_{W,A,Ed} \times \cos \beta)}{K_{p\ ref}}$
$C5 =$	80,0098852	$C_5 = \frac{(F_{W,A,Ed} \times \sin \beta)}{K_{p\ ref}}$
$C6 =$	1,4284E+13	$C_6 = K_{p\ ref} \sum_S \sum_m \sum_p C_{eq\ S,m,p} \times d_{\eta,S,m,p}^2$
		$u = \frac{(C_4 C_3 - C_5 C_2)}{(C_1 C_3 - C_2^2)}$
		$\theta = \frac{F_{W,A,Ed} \cdot d_{w,\eta}}{C_6}$
		$v = \frac{(C_1 C_5 - C_4 C_2)}{(C_1 C_3 - C_2^2)}$
		$d_{w,\eta} = d_{w,x} \sin \beta - d_{w,y} \cos \beta$

$$\Delta_{v,Ed,S} = \theta \times d_{\eta,S} + u \times \cos \alpha_S + v \times \sin \alpha_S$$

$$\Delta \leq \frac{h_0}{500} = \frac{2500}{500} = 5 \text{ mm}$$

✘ si étage: $\Delta_s \leq \frac{h_s}{250}$

Paroi	$\Delta_{v,Ed}$	Taux de déplacement
1	9,647E-02	1,83%
2	2,552E-01	4,84%
3	2,282E-01	4,33%
4	9,708E-02	1,84%
5	-1,028E-01	1,95%
6	-9,861E-02	1,87%
7	-1,027E-01	1,95%
8	8,741E-02	1,66%
9	2,234E-01	4,24%
10	7,628E-02	1,45%
11	5,615E-02	1,06%
12	3,300E-02	0,63%
13	2,130E-01	4,04%

ANNEXES

14	1,369E-02	0,26%
15	8,480E-03	0,16%
16	5,548E-02	1,05%
17	2,222E-01	4,21%
18	3,462E-02	0,66%

Paroi	$F_{v,Ed}$
1	1225
2	1988
3	1777
4	1232
5	-607
6	-337
7	-607
8	535
9	1708
10	337
11	471
12	277
13	940
14	105
15	52
16	83215
17	333334

$$F_{v,Ed,S} = K_{pref} \times C_{eqS} \times \Delta_{v,Ed,S} \times 1,5$$

effort horizontal en tête de mur

$$F_{V,Ed,mur} = \frac{F_{v,Ed} \times C_{eq,mur}}{C_{eq,S}}$$

effort vertical en extrémité de mur
(arrachement):

$$F_{t,Ed,mur} = \frac{F_{V,Ed,mur} \times h_{mur}}{l_{mur}}$$

Paroi n°1 composée de 4 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	552	876
2	119	3230
3	59	2809
4	659	599

Paroi n°2 composée de 3 murs

ANNEXES

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	436	3360
2	1116	1588
3	436	3102

Paroi n°3 composée de 3 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	390	3004
2	998	1420
3	390	2773

Paroi n°4 composée de 4 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	556	881
2	120	3250
3	60	2826
4	663	603

Paroi n°5 composée de 3 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	-175	-1102
2	-259	-800
3	-175	-920

Paroi n°6 composée de 2 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	-168	-560
2	-168	-560

Paroi n°7 composée de 3 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	-175	-1101
2	-259	-800
3	-175	-920

Paroi n°8 composée de 1 mur

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	535	705

Paroi n°9 composée de 3 murs

ANNEXES

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	382	2797
2	382	1180
3	945	1408

Paroi n°10 composée de 1 mur

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	337	265

Paroi n°11 composée de 1 mur

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	471	370

Paroi n°12 composée de 1 mur

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	277	218

Paroi n°13 composée de 1 mur

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	940	739

Paroi n°14 composée de 3 murs

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	23	171
2	23	72
3	58	86

murs	$F_{v,Ed,mur}$	$F_{t,Ed,mur}$
1	52	68

pointes 2,1*55			
diamètre	2,1	mm	
longueur	55	mm	
f_u	600		
$M_{y,Rk}$	1238,92		
diamètre tête	3,15		

bois d'ossature (C24)	
pk	420

$$M_{y,Rk} = 0,3 \times f_{u,k} \times d^{2,6}$$

ANNEXES

panneau	
épaisseur	12
ρ_k	620

k_{mod}	0,99
γ_m	1,3

Résistance à l'enfoncement du panneau (portance locale)

$$f_{h,k,1} \quad 49,58 \quad \text{Mpa}$$

Résistance à l'enfoncement du bois

$$f_{h,k} = 0.082 \rho_k d^{-0.3}$$

$$f_{h,k,2} \quad 27,57 \quad \text{Mpa}$$

$$\beta \quad 0,56$$

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,2,k} t_2 d \\ \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right]} + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1.05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 1.15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$

$$f \quad 493,79 \quad \text{N}$$

$$F_{v,Rk} \quad 475,90 \quad \text{N}$$

$$f_{ax,k} = 20 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{head,k} = 70 \cdot 10^{-6} \rho_k^2$$

$$f_{ax,k} \quad 3,53 \quad \text{Mpa}$$

$$f_{head,k} \quad 26,91 \quad \text{Mpa}$$

$$F_{ax,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{ax,k} d t_{pen} \\ f_{ax,k} d t + f_{head,k} d_h^2 \end{array} \right.$$

$$F_{ax,Rk} \quad 318,58 \quad \text{N}$$

Limitation de l'effet corde

Résistance caractéristique au cisaillement par plan d'un organe

$F_{v,Rk}$ 547,28	$F_{v,Rk} = F_{v,Rk}(Johansen) + \min \left\{ \begin{array}{l} F_{ax,Rk} / 4 \\ 0,15 \cdot F_{v,Rk} \end{array} \right.$	N
-------------------	--	---

Résistance au cisaillement par plan d'un organe

$F_{f,Rd}$ 418,88	$F_{f,v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M}$	N
-------------------	--	---

METRE ET ETUDE DE PRIX

Acrotère

Structure	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Ossature	Sapin C24	1,21	0,121	1,331	m^3	457,13 €	608,44 €
Contreventement	OSB 3 1196*3000	55,56	5,556	61,116	m^2	6,00 €	366,70 €

		Total HT	975,14 €
TVA	20,00%	Total TTC	1 170,16 €

Isolation / Etanchéité	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Panneaux ITE	Pavatex Diffutherm e=100	55,56	5,556	61,116	m^2	34,85 €	2 129,89 €
Isolant intérieur	Pavaflex e=140	55,56	5,556	61,116	m^2	24,08 €	1 471,67 €
Pare-vapeur	Kerto S 200*45	55,56	5,556	61,116	ml	2,00 €	122,23 €
Couvertine	Couvertine en aluminium	34,725	3,4725	38,1975	portion de 2 m	28	1 069,53 €

		Total HT	4 793,33 €
TVA	20,00%	Total TTC	5 751,99 €

Immeuble	
5 768,46 €	HT
6 922,16 €	TTC

Toiture

Structure	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Solivage	Finnjoist 89*300	477	47,7	524,7	ml	10,00 €	5 247,00 €
Dalle	OSB 3 675*2500*22	288	28,8	316,8	m ²	11,00 €	3 484,80 €
Lisse de chaînage	Sapin C24	0,79	0,079	0,869	m ³	457,13 €	397,25 €
Lisse	Kerto S 300*45	25,91	2,591	28,501	ml	19,40 €	552,92 €
Panneaux de retenue	OSB 3 ep=15	117	11,7	128,7	m ²	6,00 €	772,20 €

		Total HT	10 454,17 €
TVA	20,00%	Total TTC	12 545,00 €

Isolation / Etanchété	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Isolant phonique	Pavatherm Forte e=140	288	28,8	316,8	m ²	30,50 €	9 662,40 €
Isolant intérieur	Pavaflex e=200	288	28,8	316,8	m ²	34,40 €	10 897,92 €
Chape	22	288	28,8	316,8	m ²	22,00 €	6 969,60 €

		Total HT	27 529,92 €
TVA	20,00%	Total TTC	33 035,90 €

Parement	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Inférieur	Placoplatre BA 18	288	28,8	316,8	m ²	7,00 €	2 217,60 €
Supérieur	Film d'étanchéité	38,4	3,84	42,24	portion de 7,5 m	25,00 €	1 056,00 €

		Total HT	3 273,60 €
TVA	20,00%	Total TTC	3 928,32 €

Immeuble	
41 257,69 €	HT
49 509,22 €	TTC

Plancher bas Béton

Isolation / Etanchété	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Isolant thermique	Pavatherm e=140	288	28,8	316,8	m ²	30,50 €	9 662,40 €
Chape	Liquide 50 mm	288	28,8	316,8	m ²	22,00 €	6 969,60 €

		Total HT	16 632,00 €
TVA	20,00%	Total TTC	19 958,40 €

Parement	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Supérieur	Parquet flottant	288	28,8	316,8	m ²	35,00 €	11 088,00 €

		Total HT	11 088,00 €
TVA	20,00%	Total TTC	13 305,60 €

Immeuble	
27 720,00 €	HT
33 264,00 €	TTC

Balcon

Structure	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Solivage	Finnjoist 89*300	27,8	2,78	30,58	ml	10,00 €	305,80 €
Dalle	OSB 3 675*2500*22	14,9	1,49	16,39	m ²	11,00 €	180,29 €
Lisse	Kerto S 300*45	20,63	2,063	22,693	ml	19,40 €	440,24 €
Panneaux de retenue	OSB 3 ep=15	12,5783	1,25783	13,83613	m ²	6,00 €	83,02 €
Poteaux	Bois rond	8,95	0,895	9,845	ml	15,00 €	147,68 €

		Total HT	1 157,03 €
TVA	20,00%	Total TTC	1 388,43 €

Parement	Produit	Quantité net	Marge	Quantité brut	Unité	PU HT	Prix HT
Supérieur	Carrelage	288	28,8	316,8	m ²	35,00 €	11 088,00 €

		Total HT	11 088,00 €
TVA	20,00%	Total TTC	13 305,60 €

Balcon	Immeuble	
12 245,03 €	73 470,16 €	HT
14 694,03 €	88 164,19 €	TTC

COMPOSITION DES PAROIS ET DETAILS DE JONCTION

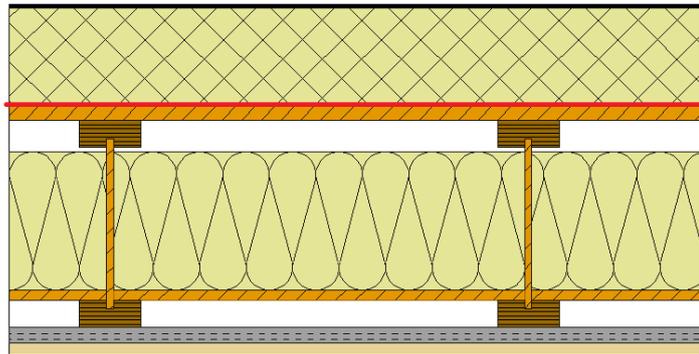


Figure 47 : Toiture

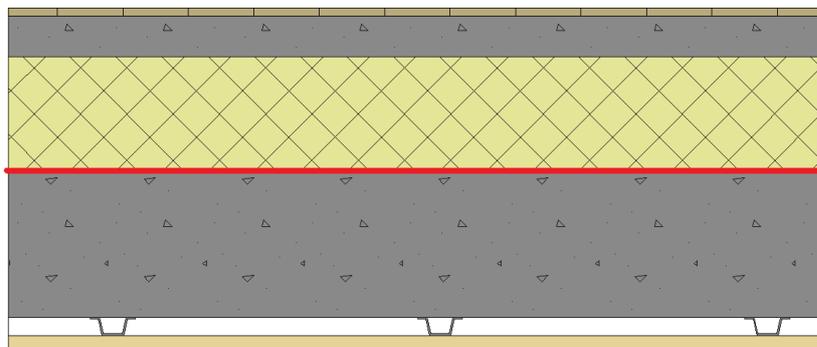


Figure 48 : Plancher bas béton

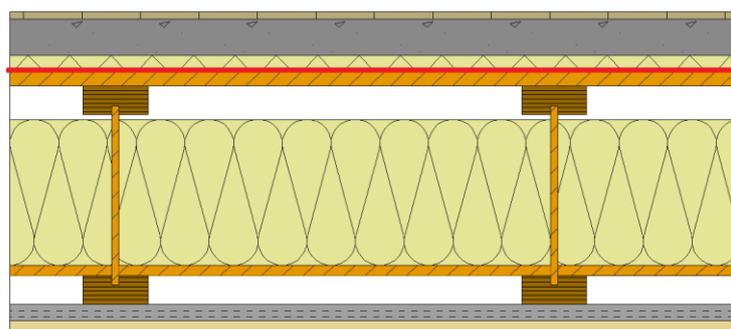


Figure 49 : Plancher intermédiaire

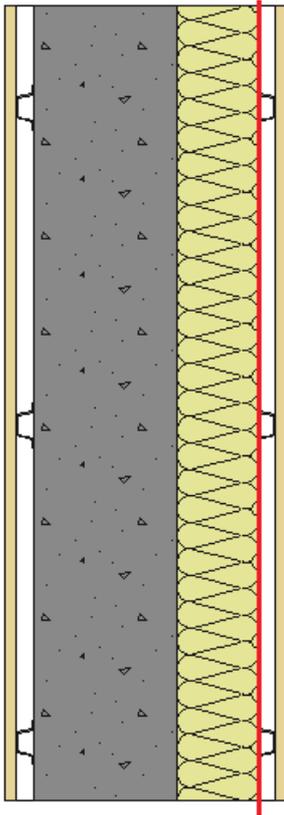


Figure 50 : Mur intérieur béton

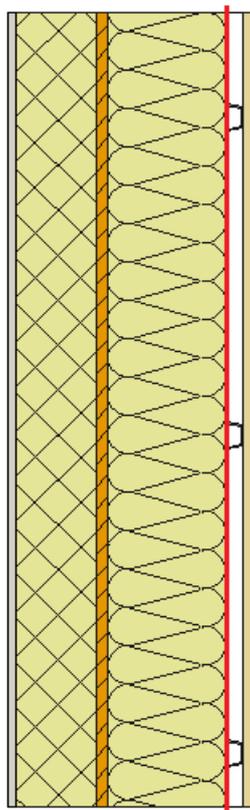
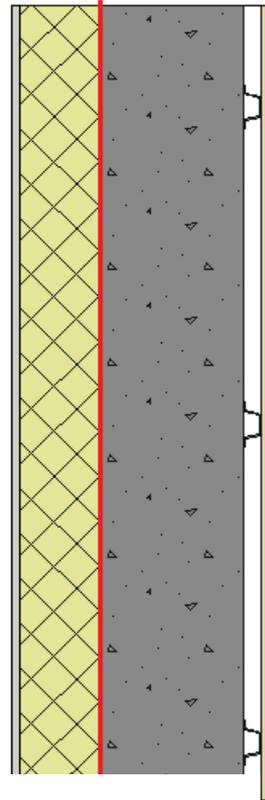


Figure 52 : Mur extérieur bois

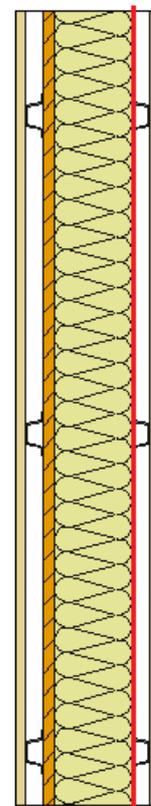


Figure 51 :
Mur extérieur
béton

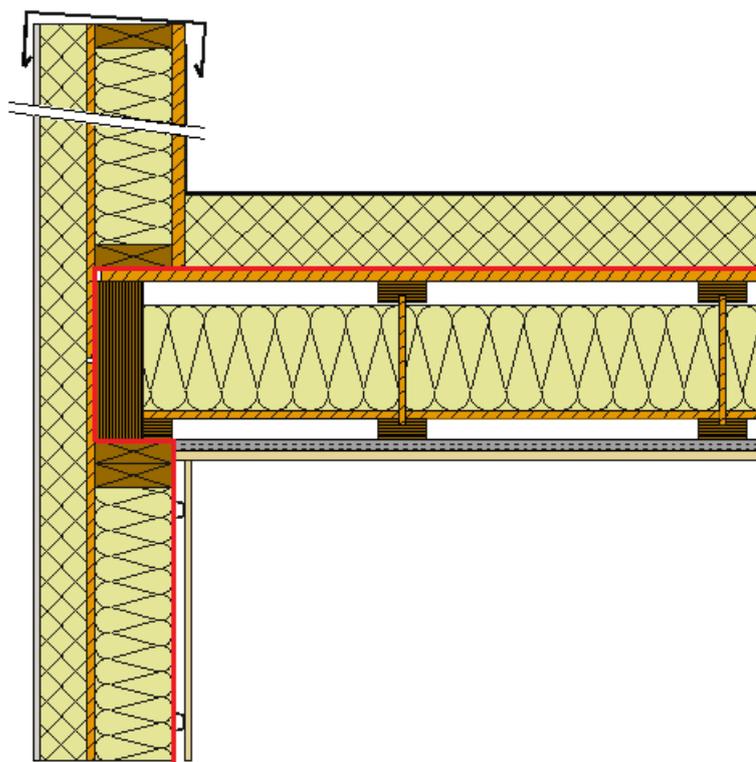


Figure 53 : Jonction toiture/acrotère et mur extérieur

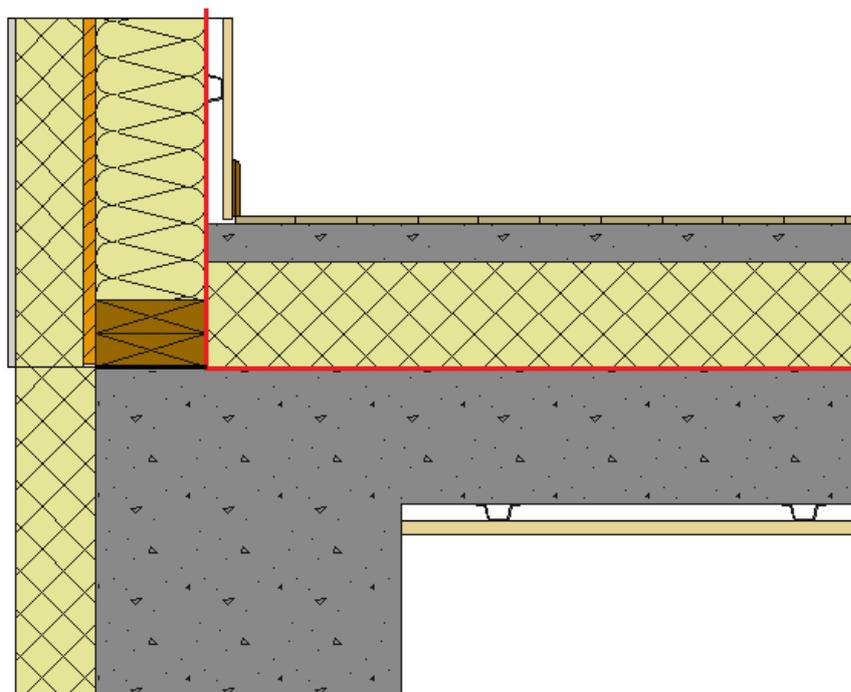


Figure 54 : Jonction plancher bas béton et mur extérieur

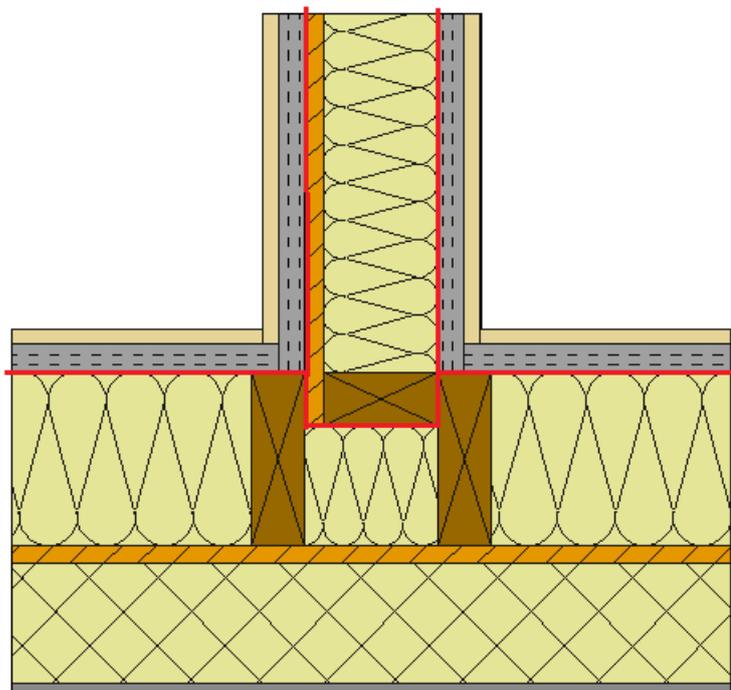


Figure 55 : Jonction mur de refend et mur extérieur bois

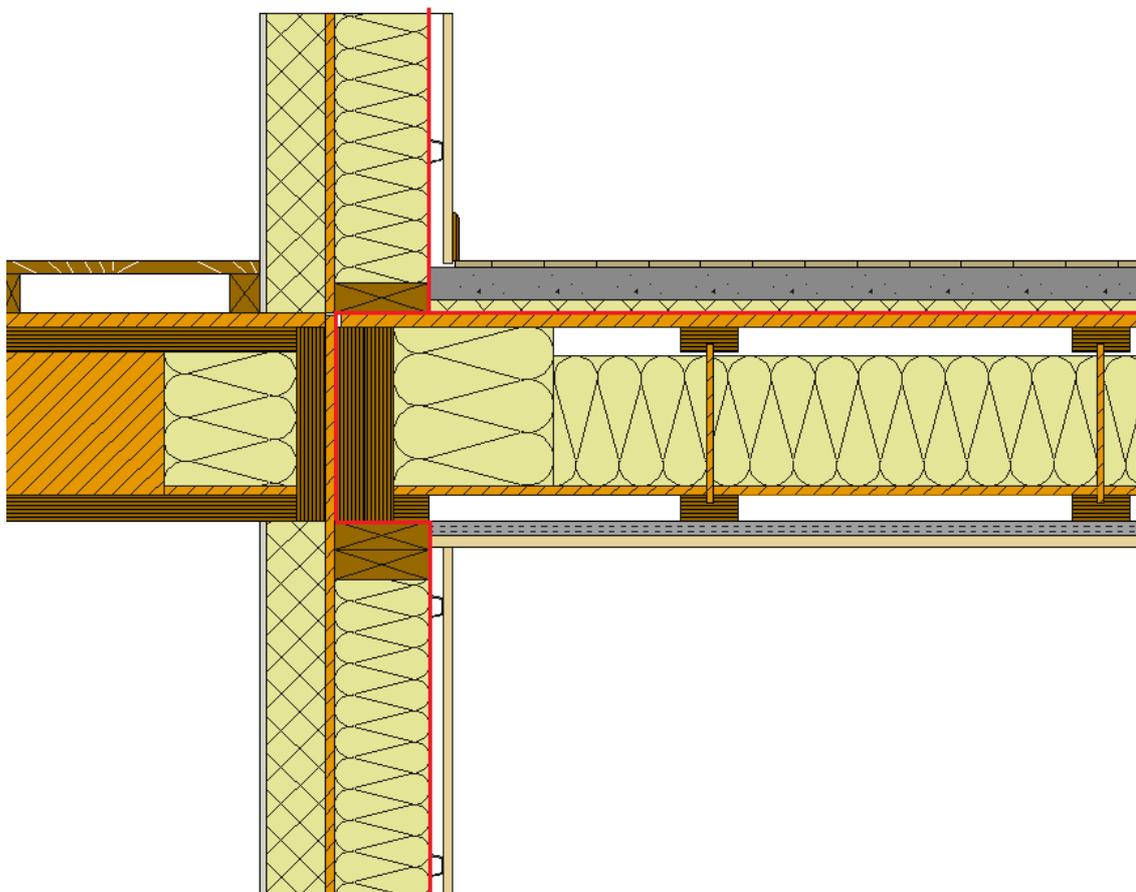


Figure 56 : Jonction plancher intermédiaire/balcon et mur extérieur

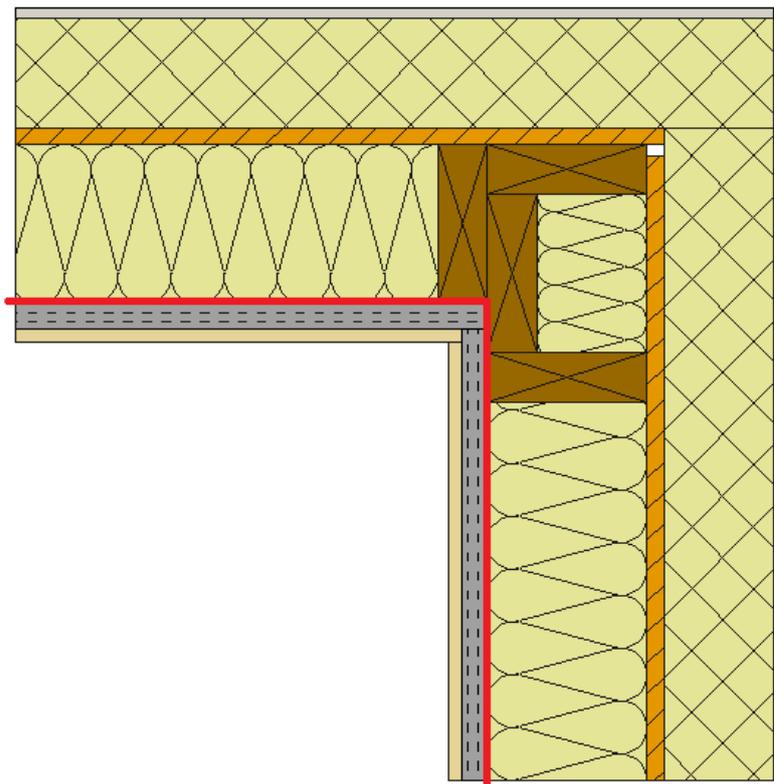


Figure 57 : Angle sortant mur extérieur bois

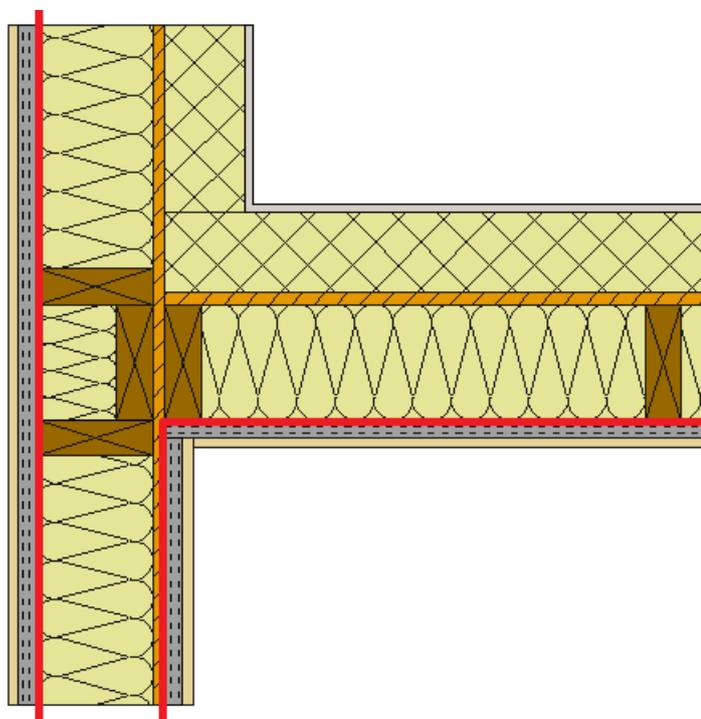


Figure 58 : Angle rentrant mur extérieur bois

RESUME

ADAPTATION D'UN BATIMENT COLLECTIF BETON EN OSSATURE-BOIS : CONCEPTION, ETUDES THERMIQUE ET MECANIQUE

Ce projet de fin d'étude consiste à concevoir et dimensionner -thermiquement et mécaniquement- un bâtiment collectif en collaboration avec l'école Centrale Lyon. Cette dernière (représentée par un groupe de 6 étudiants) a conçu ce même édifice en béton (en 2012), de notre côté nous allons étudier la fiabilité de ce projet du point de vue de l'ossature bois, un autre groupe de l'école le faisant en panneaux CLT. Un métré et une étude de prix complèteront le projet, le but est ici de comparer une solution bois par rapport aux résultats des étudiants de Centrale Lyon.

Une étude bibliographique et des conférences sur les maisons ossature bois (techniques constructives, descentes de charges, assemblages, ...) nous ont permis de réaliser la conception grâce au logiciel de DAO CadWork. En ce qui concerne l'étude thermique, notre objectif est de faire entrer le bâtiment dans la réglementation thermique RT 2012, la modélisation nécessaire est faite sur le logiciel Pléiades+COMFIE. Nous avons modulé quelques paramètres pour obtenir les meilleures performances thermiques. Pour ce qui est du dimensionnement mécanique, deux feuilles de calculs Excel dimensionnent le contreventement et quantifient les efforts de la neige et du vent sur la structure.

6 mots clés : dimensionnements, thermiques, métré, mécanique, conception, ossature-bois.

ABSTRACT

ADAPTATION OF A COLLECTIVE CONCRETE BUILDING INTO WOOD FRAME: DESIGN, MECHANICAL AND THERMAL ANALYSIS

The aim of this project is to design and size, thermally and mechanically, a collective building in collaboration with the Ecole Centrale Lyon. The latter (represented by a group of 6 students) designed the same building in concrete (in 2012). On our side we will discuss the reliability of this project from the perspective of the wood frame, another group of our school studying it with CLT panels. A bill of quantities and price study will complete the project; the goal here is to compare a wood solution to the results of Centrale Lyon students' results.

A literature study and conferences on wood frame houses (construction techniques, vertical loads, assemblies ...) have enabled us to achieve the design through CAD software CadWork. Regarding the thermal study, our goal is to enter the building in the thermal regulation RT 2012, the necessary modeling is done on the software Pleiades + COMFIE. We modulated few settings to get the best thermal performance. In terms of mechanical design, two Excel spreadsheets help us to design the bracing and quantify the efforts of the snow and wind on the structure.

6 Tags : sizing, thermal, surveying, mechanical, design, wood frame.