



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>

PROJET DE FIN D'ETUDES – ENSTIB3

COLLECTIF R+3 EN CLT



Rémi BARTOLI
Maryse PIERRE
2013 / 2014

Enseignant responsable: Laurent BLERON

REMERCIEMENTS

Arrivés au terme de notre projet, nous souhaitons remercier certains de nos enseignants qui ont été présents et impliqués dans notre travail que ce soit pour des questions de « logistique et d'organisation » que pour du support technique et moral. Tout particulièrement Marie-Christine TROUY, responsable des PFE, qui a su nous écouter et trouver une solution aux problèmes rencontrés au début du projet ; Helisoa RAFIDIARISON et Eric MOUGEL qui ont été d'une grande aide pour notre partie thermique, Jean-François BOCQUET qui a répondu présent pour les questions de calcul de structure.

Nous n'oublions pas Antoine GRAPPERONS, étudiant à Centrale Lyon, qui a lancé le projet et qui l'a suivi à distance.

Nous tenons à remercier de manière plus spéciale Laurent BLERON, notre responsable de projet, qui a su être disponible de la première à la dernière minute, quelle que soit l'heure, pour nous accompagner, nous encourager mais aussi nous mettre à disposition ses connaissances, plus précisément, dans la partie calcul.

Enfin, merci à toutes les personnes qui nous ont accompagné de près ou de loin durant notre travail. En particulier : Jérémy ROUGET et Vincent ECCHER.

* *L'image en page de garde est un rendu réaliste réalisé par nos soins pour illustrer notre projet*

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	1
SOMMAIRE	2
PRINCIPALES NOTATIONS.....	4
INTRODUCTION	5
- PARTIE 1 - PROJET ET CONTEXTE.....	6
1. HISTORIQUE.....	6
2. SUJET D'ETUDE.....	6
3. PRESENTATION ARCHITECTURALE.....	6
- PARTIE 2 - ETUDE.....	8
1. PLANNING DES TACHES	8
2. PRESENTATION CLT	9
3. PRESENTATION RT2012	9
4. CONCEPTION DES PAROIS.....	10
4.1. Parois courantes (A2).....	10
4.2. Planchers intermédiaires (A3).....	10
4.3. Toiture (A4)	11
4.4. Parois mitoyennes porteuses (A5).....	11
4.5. Cloisons légères (A6)	11
5. ETUDE THERMIQUE.....	11
5.1. Implantation géographique.....	12
5.2. Zonage (A7).....	12
5.3. Analyse.....	12
5.3.1. Description des variables.....	12
5.3.2. Comparatifs	13
6. METRE (A24).....	14
7. PROPOSITIONS TECHNIQUES	15
7.1. Balcons	15
7.1.1. Option 1 : structure bois « suspendue » (A25_1 et A25_2).....	15
7.1.2. Option 2 : dalle CLT continue (A26).....	16
7.1.3. Option 3 : structure rapportée.....	16
7.2. Liaison mur/ plancher (A27)	16
7.3. Angles (A28).....	17
7.4. Acrotères – liaison mur/ toiture (A29).....	17
7.5. Liaison mur extérieur/ refend (A30, A44).....	17
7.6. Liaison bas de mur (A31).....	17
7.7. Liaison murs extérieurs (A32).....	17
8. CALCUL DES PANNEAUX : METHODE.....	18
8.1. Calcul d'un CLT en flexion	18
8.1.1. Flexion.....	18
8.1.2. Cisaillement roulant	21
8.1.3. Cisaillement	23
8.2. Calcul d'un linteau.....	23
8.2.1. Contrainte de flexion	24
8.2.2. Flambement.....	24
8.2.3. Déversement	25
8.3. Calcul d'un mur vertical.....	26
8.3.1. Contrainte de flexion	26
8.3.2. Compression	26
8.3.3. Déversement	26
8.3.4. Cisaillement	27
8.4. Déplacement horizontal du mur	30
8.4.1. Déformation dans le plan.....	31
8.4.2. Déplacement des assemblages.....	31
9. DESCENTE DE CHARGE.....	33

CONCLUSION	35
ANNEXES	36
BIBLIOGRAPHIE	37
RESUME	38

PRINCIPALES NOTATIONS

Notation	Signification
AT	Avis techniques
BA13	Plaque de plâtre de la marque Placoplâtre
BBC	Bâtiment basse consommation
BSO	Brise soleil orientable
CLT	Cross laminated timber (panneau massif contrecollé)
CSTB	Centre scientifique des techniques du bâtiment
DTU	Document technique unifié
EC5	Eurocodes 5
ELS	Etat limite de service
ELU	Etat limite ultime
EP	Evacuation eau de pluie
ITE	Isolation thermique par l'extérieur
KLH	Marque KLH
kWh _{ep}	Consommation d'énergie primaire
LC	Lamellé Collé
LVL	Laminated Veneer Lumber : Bois lamifié
marquage CE	Marquage communauté européenne
MHM	Marque de panneaux massifs contre-cloués
OSB	Oriented Strand Board (panneaux bois à lamelles orientées)
PFE	Projet de fin d'études
PMR	Personne à mobilité réduite
R+1 - R+2 - R+3	Etage niveau 1 - niveau 2 - niveau 3
RDC	Rez-de-chaussée (niveau 0)
RT	Réglementation thermique
RT2005	Réglementation thermique 2005
RT2012	Réglementation thermique 2012
S _d	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau (épaisseur équivalente d'air, en mètre)
Th-BCE	TH pour thermique, B pour bioclimatique BBio, C pour consommation, E pour été ou confort d'été
UNTEC	Union Nationale des Economistes de la construction

INTRODUCTION

Le présent rapport est le compte-rendu final de notre projet de fin d'étude. Malgré un planning serré, puisque nous avons commencé notre projet avec un mois de retard, nous avons mené à bien notre étude. Ce projet s'inscrit à la suite d'un mémoire fait par des étudiants de Centrale Lyon.

Nous vous présenterons dans les parties à venir de manière plus détaillée le sujet ainsi que le contexte qui a mené à sa création.

Avant d'entrer dans l'étude en tant que telle, nous commencerons par présenter le nouveau matériau qu'est le CLT et la réglementation thermique en vigueur à l'heure de l'écriture de ce rapport.

L'étude sera elle, divisée en plusieurs parties. Dans un premier temps nous donnerons la composition de nos parois, suivie d'une étude thermique. Ensuite, nous détaillerons notre métré, suite à quoi nous proposerons des détails techniques. Enfin nous terminerons par une brève étude structurelle de notre bâtiment dans laquelle nous introduirons les particularités liés au calcul du CLT.

Nous espérons que vous aurez autant de plaisir à lire ce mémoire que nous en avons eu à le travailler.

- PARTIE 1 - PROJET ET CONTEXTE

1. HISTORIQUE

Ce projet est né à l'école Centrale de Lyon en partenariat avec la société Lafarge (qui s'est depuis retirée). Un groupe d'étudiant a étudié un bâtiment type en béton et devait comparer ce système constructif à d'autres (construction métallique et construction bois). Après une étude mécanique et financière, un autre groupe de travail s'attaque à l'étude thermique. Le but final étant de produire un petit logiciel permettant de choisir rapidement le procédé constructif à utiliser pour un bâtiment.

En Septembre 2013, Antoine GRAPPERONS étudiant de Centrale Lyon s'est rapproché de Laurent BLERON pour savoir si une étude du même type était réalisable, en bois, par des étudiants de l'ENSTIB.

2. SUJET D'ETUDE

Notre PFE peut être vu comme un projet permettant une étude globale d'un bâtiment. Nous allons partir des plans d'architecte pour faire une modélisation 3D, une étude statique, une étude thermique puis une étude financière. Il ne manquerait plus que la construction du bâtiment pour avoir mené un projet de construction de A à Z ou des fondations à la charpente, et notamment comparer les besoins énergétiques calculés aux besoins réels.

Les consignes étaient, au début, assez larges et nous avons essayé de les définir plus précisément en concertation avec notre responsable et notre contact à Centrale Lyon, tout en tenant compte du temps imparti.

Après discussion avec Antoine GRAPPERONS nous avons aussi souhaité étoffer notre projet avec des références permettant à des étudiants « non-spécialistes » de la construction bois de pouvoir trouver des informations complémentaires à notre projet. C'est pourquoi, nous avons ajouté des références de produits et de fournisseurs, ou encore essayer d'introduire la nouvelle RT obligatoire, depuis Janvier 2013.

3. PRESENTATION ARCHITECTURALE

Le projet est un bâtiment au volume simple (parallélépipède) en R+3. Il est question d'un bâtiment collectif, c'est-à-dire, plus de 2 logements superposés avec des parties communes [1]. Ce type de bâtiment répond à des normes, notamment au niveau de l'accessibilité aux PMR [2]. Nous essayerons de proposer des solutions permettant un accès pour tous, mais nous ne traiterons pas cette partie de manière complète. Un acrotère est présent en périphérie de toiture, cela engendre des problèmes pour l'accumulation de neige. Des balcons sont prévus au niveau de certaines ouvertures, il faudra y prêter une attention particulière pour limiter les ponts-thermiques. Dans le projet

PROJET ET CONTEXTE

initial, un sous-sol en béton existe (hors-étude). Nous utiliserons une structure en CLT tout en gardant des surfaces habitables identiques au système béton ainsi qu'un parement extérieur crépis pour avoir le même visuel que sur le projet de départ.



Figure 1: modélisation sous Sketchup [3] du projet (extrait des documents fournis par Centrale Lyon)

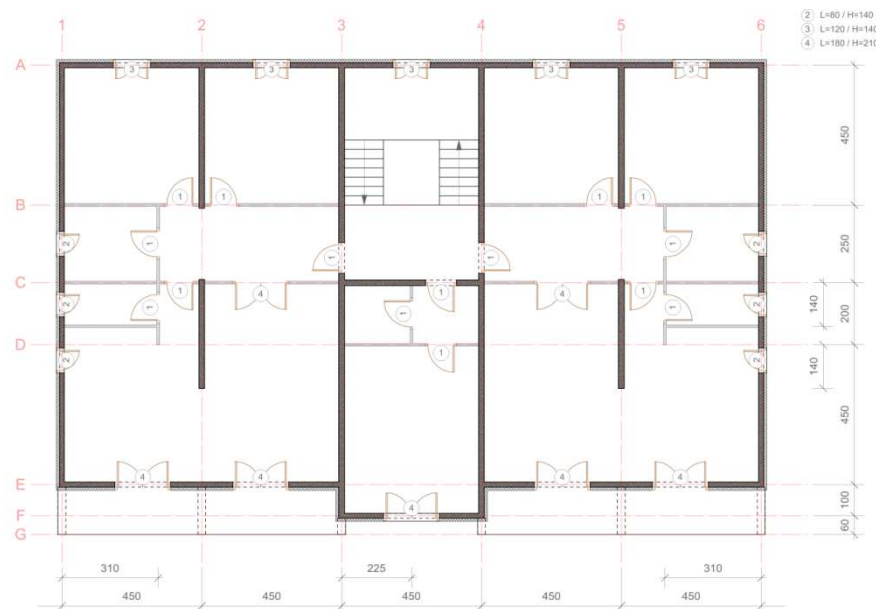


Figure 2: Plan d'étage courant sous Autocad [4] (extrait des documents fournis par Centrale Lyon)

Le bâtiment est symétrique et les étages sont identiques. Les 4 façades sont relativement ouvertes. Un collectif comme celui-ci répond à des normes de sécurité au niveau du feu [5]. Notre opération est classée dans la 2^o famille : « Habitations collectives $\leq R+3$ ». Il faudra travailler avec un escalier encoisonné (béton ou solution inifugée) car le plancher du logement au dernier étage est à une hauteur de plus de 8m. Toujours pour répondre à ce type de famille, des parois coupe-feu sont à mettre en œuvre. De plus, des réglementations existent aussi sur le plan acoustique [6], et nous avons essayé là-encore de proposer des solutions permettant d'y répondre. Cependant, les réglementations incendies, acoustiques et d'accessibilité, ainsi que les solutions en découlant, n'ont pas été approfondies par manque de temps.

- PARTIE 2 - ETUDE

1. PLANNING DES TACHES

A la prise de connaissance de notre sujet, nous avons listé les tâches à faire, nous nous sommes réparties et nous avons élaboré un planning, un calendrier nous permettant de gérer notre temps. (A1)

Voici les différents travaux et leurs répartitions :

- Etude du sujet et des pièces à notre disposition (*Rémi BARTOLI et Maryse PIERRE*)
- Compositions des parois (*Maryse PIERRE*) : dans cette partie, il faudra réaliser des détails de conception des parois verticales et horizontales, ainsi que des détails aux points critiques (balcons, angles, liaisons diverses, ...)
- Modélisation 3D (*Maryse PIERRE*) : modèle 3D sera réalisé à partir des plans fournis. Il permettra de s'approprier la géométrie du projet mais aussi les points critiques. Il servira de plus à la réalisation du métré.
- Etude neige (*Rémi BARTOLI*) :
- Etude vent (*Rémi BARTOLI*) :
- Statique (*Rémi BARTOLI*) :
- Thermique (*Maryse PIERRE*) : une étude thermique sera réalisée sur le logiciel Pléiades-Comfi afin de vérifier que nos détails de conception permettent de respecter la RT2012.
- Métré (*Maryse PIERRE*) : à l'aide du modèle 3D et des détails, un chiffrage de la structure sera fait en s'appuyant sur des prix de produits choisis.
- Compte rendu écrit (*Rémi BARTOLI et Maryse PIERRE*)
- Compte rendu oral (*Rémi BARTOLI et Maryse PIERRE*)

Pour les études mécaniques nous nous tournerons vers Laurent BLERON et Jean-François BOCQUET. Pour l'étude thermique nous prendrons conseils auprès d'Eric MOUGEL. Durant toute notre étude nous tiendrons informé Antoine GRAPPERONS (étudiant de Centrale Lyon) de l'évolution de notre projet (un compte rendu écrit environ une fois par semaine). Cela nous permettra d'avoir des retours réguliers sur notre travail et de s'assurer de rester dans le cadre de notre étude. De la même façon nous tiendrons informé de manière formelle ou informelle Laurent BLERON sur notre état d'avancement.

Afin de faciliter notre travail, nous avons créé deux dropbox. Une est commune aux deux groupes de travail de l'ENSTIB. On y retrouve les documents reçus par Centrale Lyon.

Pour notre groupe nous avons une autre dropbox qui nous permet d'échanger rapidement nos documents de travail. On y retrouve en outre des documents matériaux, notre modèle 3D et un document texte comportant toutes remarques. Nous sommes ainsi en perpétuelle connexion ce qui nous permet un travail de groupe plus efficace.

Aujourd'hui, arrivés à la fin de notre étude, nous pouvons dire que nous avons été optimistes sur le temps de travail de certaines tâches, cependant nous avons réussi à gérer notre temps pour terminer aux dates demandées. Ce travail de planification a été utile, tant sur le plan temporel que pour la détermination des tâches à effectuer et leurs répartitions. Sans cela nous aurions pu vite nous éloigner du sujet et oublier certaines parties.

2. PRESENTATION CLT

Souhaitant faire de ce compte-rendu un rapport pédagogique pour des personnes n'étant pas directement dans le domaine de la construction bois, nous allons ci-après faire une présentation du matériau choisi pour notre structure.

Le CLT est un panneau en bois massif contrecollé. Venant d'Autriche, c'est dans les années 2000 que l'intérêt pour ce matériau novateur va croître. En effet, il permet de répondre à beaucoup de problématique :

- Souhait d'utiliser des matériaux écologiques
- Usinage et montage rapide
- Performances mécaniques
- Stabilité dimensionnelle

[...]

La composition des panneaux CLT est ainsi définie : empilement de planche de bois sous forme de plis croisés (alternance horizontal et vertical selon l'utilisation). Au minimum, un panneau comporte 3 plis. Le nombre total de plis et l'épaisseur des planches, varient en fonction des sollicitations mais aussi des fabricants. La liaison entre les planches est faite par collage. L'utilisation de bois sec est primordiale dans le procédé de fabrication.

Le CLT peut être utilisé en tant que mur, plancher ou élément de charpente. De par ses caractéristiques, il est souvent utilisé dans la réalisation de bâtiments à plusieurs étages [7] : il est donc adapté à notre projet. Actuellement en France, le CLT représente 4% des parts de marché de la construction bois [8], mais il est certain que ce chiffre va augmenter dans les prochaines années. Cette présentation sommaire peut être approfondie par divers ouvrages sur le CLT [9].

3. PRESENTATION RT2012

A la suite du Grenelle de L'environnement, le gouvernement a décidé de faire évoluer la RT en vigueur à l'époque : la RT2005. Cette décision est partie d'un constat simple, le secteur du bâtiment consomme 42,5% de l'énergie finale totale (1^{er} secteur d'activité au niveau de la consommation de cette énergie en France) et dans un même temps, les bâtiments représentent 23% des émissions de gaz à effet de serre [10]. Suite aux accords de Kyoto, au « Plan Climat de 2004 » et au Grenelle de l'environnement, le gouvernement

souhaite réduire par 3 la consommation énergétiques des constructions neuves d'ici 2020 [11].

La RT2012 prend pour référence dans la construction neuve le label BBC (autrement appelé BBC Effinergie en France [12]) avec une consommation d'énergie primaire de 50kWh/ (m².an). Depuis le 1^{er} Janvier 2013, tous les bâtiments doivent respecter la dernière RT.

Afin de respecter la RT2012, il faut vérifier 3 indicateurs :

- « Bbio » : indicateur de l'impact d'une conception bioclimatique sur les performances du bâtiment
- « Tic » : indicateur sur le confort d'été
- « Cep » : indicateur sur la consommation d'énergie primaire

De plus, des contrôles sont prévus : lors de la demande du permis de construire et à la fin des travaux.

Pour les bâtiments collectifs, la RT2012 prévoit, un C_{epmax} plus élevé que celui du label BBC (75kWh_{ep}/ (m².an) contre 50 kWh_{ep}/ (m².an)) [13]

4. CONCEPTION DES PAROIS

4.1. Parois courantes (A2)

Nous avons prévu une isolation par l'extérieure, facile à mettre en œuvre dans le cas d'un mur en CLT. Certains complexes isolants avec une finition enduit ne nécessitent pas une ossature secondaire ; ils sont directement fixés sur le panneau massif.

Nous avons décidé de travailler sans pare-vapeur, un facteur supérieur à 5 existant entre le Sd de l'enduit et celui du CLT. Ainsi nous obtenons des parois ouvertes à la vapeur d'eau, plus pérennes dans le temps que des parois fermées (comme celles prescrites dans le DTU 32.1). Nous avons prévu un vide technique de 50 mm côté intérieur pour le passage des gaines de flux (c'est-à-dire un espace permettant de faire passer les câbles électriques, des arrivées ou évacuations d'eau, d'installer les boîtiers des prises et interrupteur, ...)

4.2. Planchers intermédiaires (A3)

Les planchers sont eux aussi en CLT. Une isolation acoustique est prévue en partie basse avec un vide technique. Une plaque de plâtre doublée assure la finition et permet d'augmenter les performances acoustiques et de résistance au feu de l'ensemble. En partie haute, une isolation phonique (type feutre) permet de limiter les bruits d'impact entre les logements. Une chape et un revêtement de sol termine le complexe, ce qui apporte de l'inertie à notre bâtiment.

4.3. Toiture (A4)

Nous travaillons sur une toiture plate non-accessible (sauf pour entretien occasionnel). La membrane d'étanchéité sera protégée par du gravier. Une isolation spécifique sous la membrane d'étanchéité est prévue. En dessous du CLT, on retrouve la composition comme pour un plancher intermédiaire.

4.4. Parois mitoyennes porteuses (A5)

En CLT, les parois porteuses doivent outre l'aspect structurel, permettre de limiter les diffusions sonores entre les pièces et plus particulièrement entre les logements. Nous avons donc opté pour une isolation acoustique avec plaque de plâtre (dont un côté doublé, là encore pour l'acoustique et la résistance au feu)

4.5. Cloisons légères (A6)

Les cloisons légères seront des cloisons à rail métalliques isolées pour le phonique et habillées de part et d'autre de plaque de plâtre.

5. ETUDE THERMIQUE

Dans un premier temps, nous voulions faire un calcul Th-BCE 2012 [14]. C'est-à-dire que nous souhaitions savoir si notre bâtiment répondait aux exigences de la RT2012. Cependant, une telle approche était compliquée, puisque nous aurions dû, en plus de la conception du bâtiment, décider de tous les équipements pour notre projet. De plus, faire un calcul Th-BCE, long et laborieux ne nous aurait apporté qu'une réponse : notre bâtiment répond à la RT2012 ou notre bâtiment ni répond pas.

Nous avons donc choisi une autre approche. Nous avons décidé de calculer les besoins de chauffage du bâtiment. Nous avons donc étudié ce projet avec nos compositions de parois, telles que définies dans la partie précédente. En reprenant les mêmes scénarios, la même étude a été réalisée avec les compositions de parois données dans le rapport des étudiants de Centrale Lyon. Nous ferons aussi une simulation avec les compositions de parois RT2012 prédéfinies dans le logiciel Pléiades. Cela nous permettra donc de comparer les besoins en fonction de la structure choisie. Enfin nous essayerons de voir l'impact des occupants sur les besoins de notre bâtiment.

Pour résumé, cette approche nous permet une comparaison plus pertinente des différentes solutions, puisque nous comparons les deux structures en faisant varier les compositions de parois pour les mêmes scénarios.

5.1. Implantation géographique

Nous avons repris l'implantation donnée par le projet de Centrale Lyon, nous sommes donc à La Rochelle (H2b RT2012). Il en va de soi que les besoins de notre bâtiment ne seraient pas les mêmes si celui-ci était implanté à Chambéry, par exemple. Notre étude thermique est donc valable pour la zone géographique indiquée et pour toute autre localisation, il faudrait refaire la simulation.

5.2. Zonage (A7)

Plusieurs zonages peuvent être imaginés pour notre projet. Une première solution serait de créer des zones par type de pièce (pièces de vie, pièces de sommeil, circulations) et ce pour chaque appartement. Dans ce cas, cela signifierait que les scénarios changeraient entre les différents types de pièces. Nous avons pris le parti de faire une zone pour un appartement et une zone pour la circulation. Les scénarios sont alors identiques dans toutes les pièces du logement. Nous avons opté pour ce zonage car d'après la définition : les zones sont caractérisées comme des connexions de locaux aérauliques. L'étanchéité d'une zone se gère à sa périphérie, il est donc facile de visualiser chaque logement comme une « boîte » aéraulique.

5.3. Analyse

5.3.1. Description des variables

Pour nos simulations, nous avons décidé de regarder l'influence de la structure (CLT vs Béton), ajout de 50mm d'isolation à l'intérieur des parois enveloppes du bâtiment, des différents systèmes de ventilation et de l'occultation des baies vitrées.

Pour rappel, un Bypass, pour faire simple, est un système qui permet de passer la ventilation double flux en simple flux. C'est-à-dire qu'en période plus chaude (de mai à octobre), l'air neuf n'est plus chauffé par l'air vicié comme cela se passe dans une double flux. Nous verrons l'impact qu'aura un tel système sur le bâtiment.

Les compositions des parois pour les solutions en CLT sont celles mentionnées dans ce rapport. Les compositions en béton sont basées sur celles proposées dans le rapport de Centrale Lyon (n.b : certaines modifications ont été apportées et sont annotées sur les détails en annexes) (A8, A9, A10, A11, A6)

5.3.2. Comparatifs

Solutions	Besoin chauffage (kWh/m ²)	T° moyenne (°C)	Moyenne taux inconfort
1 – CLT Double flux bypass (A12)	15	21	4.38%
2 – CLT Double flux (A13)	14	22.24	21.09%
3 – Béton Double flux bypass (A14)	19	21.01	2.73%
4 – Béton Double flux (A15)	19	22.08	16.25%
5 – Sol.1 + 50mm isolation int (A16,A17)	14	21	4.34%
6 – Sol.1 + occultation (A18)	14	20.98	3.95%

Tableau 1: comparatif des solutions

Les scénarios détaillés sont en annexes (A19, A20, A21, A22). Il n’y a pas de système de refroidissement prévu.

Il n’est pas vraiment possible de comparer les différents labels entre eux (passiv’haus, effinergie-BBC, minergie) car les besoins limites ne prennent pas en compte les mêmes paramètres, et la surface de référence n’est pas identique entre eux [15]. Nous allons donc comparer nos solutions au standard passif puisqu’il nous donne un besoin en chauffage maximum, facilement comparable à nos résultats de simulation. Cependant un bâtiment peut être passif sans répondre à la RT2012. En effet, la RT2012 implique d’autres composantes que ces besoins, comme par exemple avoir 1/6 de la surface habitable vitrée dont 50% au sud.

Pour répondre au standard passiv’haus [16] il faut un besoin de chauffage inférieur à 15kWh/m²/an. Les solutions en béton soumises par les étudiants de Centrale Lyon ne répondent pas à ce standard, alors que toutes celles proposées en CLT rentrent dans le label.

La simulation nous donne un taux d’inconfort : il s’agit en fait du pourcentage de temps (quand la zone est occupée) où la température intérieure dépasse 27°C ou est inférieure à 16°C. Dans ce cas, on considère que la température intérieure génère de l’inconfort pour les usagers. Le béton offre des taux d’inconfort (pour les mêmes scénarios) inférieurs à ceux des solutions en CLT. Cela peut s’expliquer par le fait que le béton apporte de la masse, donc de l’inertie, qui participe à la sensation de confort du bâtiment (en diminuant les périodes de surchauffe puisque le béton stocke de la chaleur).

On remarque cependant que les températures moyennes sont très proches entre les solutions en CLT et celles en béton (pour les mêmes scénarios).

L’ajout de 50mm d’isolation dans notre solution en CLT n’apporte pas vraiment. En effet, le besoin de chauffage est diminué de 1kWh/m²/an, la température moyenne est toujours de 21°C et la moyenne du taux d’inconfort est sensiblement identique. Nous pouvons donc nous demander si cela est économiquement rentable d’ajouter 50mm d’isolation à notre enveloppe extérieure. Il faudrait calculer le coût pour l’achat du matériel et de la pose et comparer avec le gain économique fait sur le chauffage par rapport à la solution sans les 50mm à l’intérieur. Nous pourrions ainsi voir au bout de combien d’année cela serait rentabilisé et ainsi défendre ou non cette solution devant un potentiel client.

Au niveau de l'occultation (obligatoire selon les textes), elle apporte du confort à l'utilisateur, et diminue les besoins en chauffage ainsi que la température moyenne (mais de manière peu sensible). Nous avons simulé un système occultant type BSO.

Parois	Epaisseur (cm)	Résistance
Parois extérieures CLT	30.3	4.44
Parois extérieures béton	32.3	3.52
Toiture CLT	40.6	4.67
Toiture béton	28.1	1.67

Tableau 2 : résistances des parois

Les compositions pour les parois en CLT ont une résistance meilleure et surtout plus homogène que les compositions pour la solution en béton. Il serait intéressant d'augmenter les résistances des parois en béton (surtout au niveau de la toiture, très peu isolée).

En analysant logement par logement, on remarque que les logements en R+1 et R+2 ont des besoins en chauffage moindre par rapport à ceux aux RDC ou R+3. Cela s'explique car ils ont moins de parois en contact avec l'extérieur (plancher bas ou toiture), donc moins de pertes.

De manière générale, la solution CLT est plus performante que celle en béton (même si cette dernière apporte de l'inertie donc du confort).

Notre étude thermique prend en compte des ponts thermiques liés aux menuiseries. Nous avons simulés ceux prédéfinis dans la méthode de calcul Th-BCE 2012 (A23). Notre conception limite considérablement tout autre type de pont thermique (notamment ceux pour les balcons ; nous ne créons que quelques ponts thermiques ponctuels aux liaisons).

6. METRE (A24)

A partir de la modélisation 3D, nous avons pu déterminer les quantitatifs pour notre projet et nous avons essayé de donner des prix lorsque cela était possible à titre indicatif, puisque Centrale Lyon souhaitait un seul et unique métré.

Nous nous sommes arrêtés sur des fabricants, mais ils en existent de nombreux autres. Nous avons essayé dans la mesure du possible d'obtenir les prix du fabricant mais en tant qu'étudiant, cela n'a pas toujours été facile.

Dans la configuration d'un appel d'offre, ce métré pourrait traiter les lots : « Structure bois », « Plaquiste », « Couverture ».

Il nous est difficile de comparer la rentabilité économique d'une construction CLT par rapport à une construction 100% béton, car aucun chiffrage n'a été fait lors de l'étude menée par Centrale. D'après Pierre MIT, économiste et président de l'UNTEC, pour un

bâtiment type « R+3 ou R+4, le prix du gros-œuvre en béton se situe entre 350 et 400€ du m² habitable » [17].

Notre bâtiment a une surface habitable approximative de 1200m². On obtiendrait donc en prenant 400€/m² habitable pour le gros œuvre en béton, un coût de : 480 000€

Nous arrivons pour le gros-œuvre en bois (CLT + ITE), sans le prix des fixations mécaniques et des diverses compribandes à un prix de : 270 000€ (pour un prix CLT de 650€/m³) ou 245 000€ (pour un prix CLT au m²)

On remarque qu'il y a peu de différence entre notre estimation de 650€/m³ et le prix fournisseur au m². L'estimation de 650 €/m³ est donc un ordre de grandeur que l'on peut garder en tête pour chiffre rapidement.

Nous avons cependant une différence d'un facteur 2 entre le prix du gros-œuvre béton et le gros-œuvre bois. Il n'est pas simple de comparer, car nous n'avons pas pris en compte la quincaillerie. De plus, nous ne savons pas ce qui est compris dans le prix donné par Pierre MIT. Comparer les deux systèmes ne nous est donc pas possible à ce jour et nous ne pouvons affirmer quel type de construction est la plus avantageuse financièrement. De plus il ne faut pas mettre de côté les coûts d'entretien du bâtiment ou de fonctionnement, ainsi que le coût environnemental, qui prend de plus en plus d'importance depuis quelques années.

N.B. : les prix indiqués ne tiennent pas compte de la pose, ni des éventuels rabais possibles pour des quantités commandées conséquentes. De même dans le lot couverture il faudrait ajouter les surcoûts (non-négligeables) pour les EP et autres accidents de toitures engendrant des remontées d'étanchéités et manchons.

7. PROPOSITIONS TECHNIQUES

7.1. Balcons

La réalisation des balcons pouvait être faite de diverses manières. Le but étant de limiter au maximum les ponts thermiques tout en maintenant des coûts raisonnables. S'agissant d'une habitation collective, il faut prévoir l'accès au PMR, c'est-à-dire qu'il ne doit pas y avoir de variations de plus ou moins 2 cm entre le seuil de la menuiserie et le sol fini du balcon. De plus il faut prévoir une pente minimum de 1% pour les EP [18].

7.1.1. Option 1 : structure bois « suspendue » (A25_1 et A25_2)

Cette solution respecte l'esprit architectural du bâtiment (pas de poteaux) tout en limitant les ponts thermiques. En effet le nez de la dalle CLT servant de plancher est isolé. Un système de poutres porteuses soutient le platelage. Une première poutre est placée dans l'isolation pour venir reprendre le CLT. Une deuxième vient se positionner à fleur de l'isolation, elle est solidarifiée à la première par des poutres perpendiculaires périphériques.

Ainsi nous avons un balcon porté par notre CLT mais ayant peu de pont thermique. Enfin, en tête des poutres périphériques, un système de tirant métallique vient « soulever » la structure. Les tirants sont repris dans les murs en CLT. Nous créons ainsi des ponts thermiques ponctuels à l'endroit des fixations des tirants, mais ces ponts restent limités.

Un platelage ajouré permet l'évacuation des eaux de pluie. Des solins sont eux aussi prévus pour la même raison.

Toute la structure du balcon et le platelage doivent être traités en classe 4, car il s'agit de bois en utilisation horizontale en extérieur (avec risque de stagnation d'eau) [19].

7.1.2. Option 2 : dalle CLT continue (A26)

Là encore il s'agit d'une solution respectant l'esprit architectural du bâtiment puisque nous obtenons des balcons en porte à faux. Cependant l'inconvénient majeur de cette option est la création d'un pont thermique linéique là où la dalle sort. De plus, le CLT continu entre l'intérieur (chauffé) et l'extérieur, serait soumis à des contraintes hydrométriques fortes entre les deux parties et cela pourrait engendrer des problèmes d'attaques fongiques, de variations dimensionnelles et autres à l'interface. Le CLT étant posé à plat, il n'y a aucune pente pour les EP : la pose d'une isolation rigide découpée en biais permet d'obtenir les 1% de pente minimum et sert de support dur à l'étanchéité. Des tasseaux et un platelage bois (classe 4) viennent finaliser le balcon.

7.1.3. Option 3 : structure rapportée

Il aurait été possible d'imaginer une structure rapportée en bois ou en métal pour créer les balcons. Cette structure aurait été autoportante, et non rattachée directement à notre bâtiment. Cependant cette solution dénaturerait l'aspect architectural de départ et aurait nécessité une étude statique (notamment au niveau du contreventement).

7.2. Liaison mur/plancher (A27)

La dalle de plancher vient s'appuyer sur notre mur en CLT. Elle est fixée mécaniquement par des vis au mur du bas et par une équerre au mur du haut pour recevoir les efforts de contreventement. Des compribandes sont prévus entre la dalle et les murs pour assurer l'acoustique et la non-propagation des sons entre les étages. Le mur supérieur est posé sur la dalle et fixé mécaniquement par des équerres avec isolation acoustique intégrée. L'ITE est continue sur toute la hauteur du bâtiment, assurant ainsi la thermique.

7.3. Angles (A28)

Les angles entrants et sortants sont composés de la même façon. Les murs en CLT sont fixés entre eux par des vis à 45°. Il n'y a pas de spécificité particulière.

7.4. Acrotères – liaison mur/toiture (A29)

La dalle de toiture vient se poser sur le mur en CLT (comme pour la liaison mur/plancher). L'acrotère est rapporté sur la dalle. Un panneau OSB à l'intérieur sert de support pour le relevé d'étanchéité. L'ossature est fixée par des équerres sur la dalle de toiture (sous l'isolation). L'ossature est isolée et l'ITE est continue jusqu'en tête du bâtiment afin de limiter les ponts thermiques. Une couverture assure l'étanchéité à l'eau de la réalisation.

7.5. Liaison mur extérieur/refend (A30,A44)

La liaison entre les murs extérieurs et les murs de refend (murs porteurs) est assurée mécaniquement par des vis à 45° sur la hauteur des murs (le nombre est à calculer). Elles seront fixées par l'intérieur.

7.6. Liaison bas de mur (A31)

Notre R+3 repose sur un sous-sol en béton. Les murs en CLT viennent reposer sur le plancher bois (fixation par équerres, comme pour les étages supérieurs). Le plancher est fixé mécaniquement à une lisse en bois dur avec une coupure de capillarité sur sa face inférieure. Un mortier permet de récupérer les éventuels défauts de planéité du mur béton. Un solin au niveau de la base de l'ITE forme une goutte d'eau, évitant toute infiltration. Le mur béton est isolé par l'extérieur par une isolation enterrée, permettant la continuité de l'isolation. Un caniveau d'une largeur de 800mm rempli de galet permet d'atténuer les projections d'eau sur les murs.

7.7. Liaison murs extérieurs (A32)

Lorsque les façades sont composées de plusieurs murs en CLT sur la longueur, nous avons prévu une liaison des deux pans de murs par un système de rainure languette. En pratique les murs sont défoncés pour obtenir une rainure. Une plaque de bois dure vient assurer la liaison grâce à des fixations mécaniques. Nous avons opté à placer la rainure languette à l'intérieur afin de faciliter le travail des poseurs (ils pourront travailler directement depuis la dalle CLT et non depuis un échafaudage).

8. CALCUL DES PANNEAUX : METHODE

Dans cette partie, nous allons voir dans les grandes lignes comment nous avons calculé les panneaux en CLT et les assemblages pour ce bâtiment. Tous les calculs ne seront pas détaillés, le but étant que le lecteur ou les étudiants de Centrale Lyon qui reprendront ce rapport sachent comment nous avons fait pour calculer ce matériau. Comme nous l'avons dit dans la première partie de ce rapport, le CLT est un matériau assez récent, et la manière de le calculer n'est pas encore rigoureusement établie.

Pour ce faire, nous avons donc essentiellement utilisé l'annexe B de l'EC5 (informative) pour calculer le panneau comme des poutres assemblées mécaniquement, un document établi par le CSTB ainsi que les informations recueillies sur les AT des fabricants.

8.1. Calcul d'un CLT en flexion

8.1.1. Flexion

A ce jour, il existe principalement trois méthodes pour calculer un CLT en flexion :

- la méthode k (application de la « théorie composite » [20],
- la méthode de l' « analogie de cisaillement » [21],
- la méthode fondée sur la théorie des poutres assemblées mécaniquement [22].

Nous utiliserons la dernière méthode (théorie des poutres assemblées mécaniquement) pour dimensionner notre bâtiment. Cette méthode permet de calculer des poutres reconstituées telles que des poutres en I, en H... . Selon le profil de la poutre, nous allons calculer une rigidité effective $(EI)_{\text{eff}}$ ainsi qu'un coefficient d'efficacité de l'assemblage entre deux profils initiaux (γ). Celui-ci est utilisé pour expliquer la déformation en cisaillement de la couche perpendiculaire du panneau. Ce facteur varie de $\gamma=1$ (liaison parfaitement collée) à $\gamma=0$ (rigidité de la liaison nulle).

Le facteur γ dans l'Annexe B de l'EC 5 se traduit comme un coefficient d'efficacité de la connexion mécanique entre deux sections. Le CLT n'étant pas assemblé par des attaches mécaniques, il a fallu adapter la formule.

$$\frac{s}{K_i} = \frac{h'_i}{G_r * b}$$

G_r : module de cisaillement perpendiculaire à la fibre (cisaillement roulant) (N/mm^2)

h'_i : épaisseur des couches de panneaux dans la direction perpendiculaire à l'action (mm)

b : largeur du panneau (mm)

s : espacement des attaches mécaniques (dans le cas des panneaux massif contre-cloués de type MHM) (mm)

K_i : module de glissement des attaches mécaniques (N/mm)

Voici la formule pour calculer la rigidité effective d'un panneau :

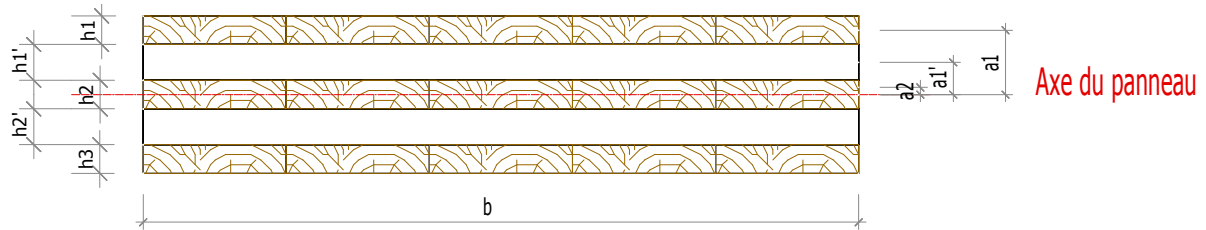


Figure 3 : coupe d'un panneau présentant les dimensions utilisées dans le calcul

$$(EI)_{eff} = \sum_i^n (E_i * I_i + \gamma_i * E_i * A_i * a_i^2)$$

E_i : Module de Young du bois composant le panneau ($E = 11000$ Mpa pour un panneau marqué CE) (N/mm^2)

I_i : Inertie de la lamelle $\left(\frac{b_i * h_i^3}{12}\right)$ (mm^4)

γ_i : Coefficient d'efficacité de la liaison mécanique

a_i : Distance entre le centre de masse de la première lame de bois et le centre de masse du panneau (mm)

Pour un panneau de type MHM :

$$\gamma_i = \frac{1}{\left(\frac{E_i * A_i}{l^2} * \frac{s}{K_i} \pi^2\right) + 1}$$

l : longueur du panneau (mm)

A_i : Aire de la lamelle ($b_i * h_i$) (mm^2)

h_i : épaisseur des couches de panneaux dans la direction de l'action (mm)

b : largeur du panneau (mm)

s : espacement des attaches mécaniques (mm)

K_i : module de glissement des attaches mécaniques (N/mm)

Pour un CLT :

$$\gamma_i = \frac{1}{\left(\frac{E_i * A_i * h_i}{l^2} * \frac{1}{G_r * b} \pi^2\right) + 1}$$

Selon des travaux réalisés à l'Université de Colombie Britannique au Canada [23], la rigidité et la résistance au cisaillement roulant du CLT ont été identifiées comme des facteurs importants qui influencent la performance de ce matériau. Le module de cisaillement roulant dépend de plusieurs facteurs : l'essence, la densité des couches croisées, l'épaisseur des lamelles, l'humidité du bois, le mode de débit des planches,

D'après les recherches de Blass et Görlacher (2000) et la procédure CUAP 2005, le module de cisaillement roulant $G_r = 50 \text{ Mpa}$ est recommandé.

Par la suite, nous utiliserons les propriétés mécaniques définies par le marquage CE du CLT où les propriétés définies sur l'AT du Panneau utilisé.

A partir de $(EI)_{eff}$, on peut en déduire :

- un module de Young efficace :

$$E_{eff} = \frac{(EI)_{eff}}{I}$$

- une inertie efficace I_{eff} de notre panneau :

$$I_{eff} = \frac{(EI)_{eff}}{E}$$

L'obtention de ces deux termes se révèle être intéressant dans la mesure où l'on peut calculer les contraintes et la déformée d'un CLT à partir d'une feuille de calcul Excel d'une poutre simple ou à l'aide d'un logiciel spécialisé en insérant ce module de Young E_{eff} . Une fois les efforts trouvés, il nous reste à déterminer les contraintes et à vérifier plusieurs équations.

- contrainte normale due à la flexion de la lamelle « i » :

$$\sigma_{t,0,k} = \frac{\gamma_i * E_i * a_i * M}{(EI)_{eff}}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{\sigma_{t,0,k} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

- contrainte de flexion de la lamelle « i » :

$$\sigma_{m,0,k} = \frac{0.5 * E_i * h_i * M}{(EI)_{eff}}$$

$$\sigma_{m,0,d} = \frac{\sigma_{m,0,k} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{m,0,d} = \frac{f_{m,0,k} * K_{mod}}{\gamma_m} \quad \text{et} \quad f_{t,0,d} = \frac{f_{t,0,k} * K_{mod}}{\gamma_m} * k_h$$

Le coefficient « k_h » majore les résistances pour les hauteurs inférieures à 150 mm pour le bois massif et 600 mm pour le lamellé collé car le risque de défauts cachés dans la pièce est moins important pour les petites que pour les grosse sections. Etant donné que le CLT est un matériau industriel au même titre que lamellé collé, nous pouvons assimiler le coefficient « k_h » du panneau à celui du lamellé collé.

Si $h \geq 600 \text{ mm}$, $kh = 1$

Si $h < 600 \text{ mm}$, $kh = \min \left\{ \begin{array}{l} 1,1 \\ (600/h)^{0,1} \end{array} \right.$

- Taux de travail en flexion et en traction :

Selon une étude du CSTB, il faudrait vérifier l'équation suivante :

$$\frac{\sigma_{t,0,d} + \sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} < 1$$

Cependant, il semble plus pertinent de vérifier l'équation suivante:

$$\frac{\sigma_{m,0,d}}{f_{m,0,d}} + \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} < 1$$

Nous vérifierons la deuxième équation dans la suite de ce rapport (A36,A37,A38,A39)

8.1.2. Cisaillement roulant

Concernant la vérification en cisaillement, selon une étude du CSTB et le centre de recherche Canadien FPInnovation, le cisaillement roulant se retrouve prépondérant devant le cisaillement longitudinal.

Pour trouver les contraintes de cisaillement roulant, nous devons calculer le moment statique, non pas selon l'axe du panneau, mais selon l'axe par lequel passe nos plis transversaux. Pour avoir une contrainte maximum, nous placerons cet axe sur le joint de colle inférieur du pli transversal le plus proche de l'axe du panneau.

Dans le cas où l'axe du panneau passe par un pli transversal comme dans le cas d'un panneau 3 plis, l'effort de cisaillement roulant sera égal au cisaillement longitudinal d'une poutre rectangulaire soit :

$$\tau = \frac{1,5 * V}{A * c} \text{ avec } c = \frac{I_{eff}}{I_{plein}}$$

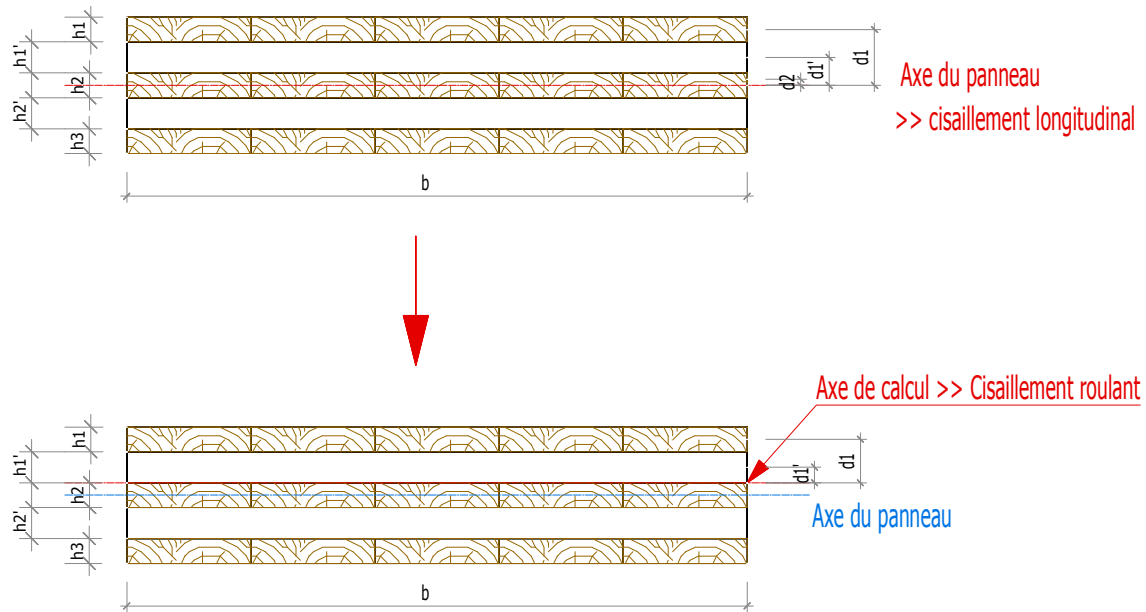


Figure 4: différences entre cisaillement longitudinal et roulant

Nous allons donc calculer la contrainte de cisaillement roulant selon la formule suivante :

$$\tau = \frac{V * M_s}{I * b}$$

$$M_s = \sum_i \gamma_i * d_i * A_i$$

V : Effort de cisaillement (N)

M_s : Moment statique (mm³)

I : Inertie du panneau (mm⁴)

γ_i : Coefficient d'efficacité de la liaison mécanique

d_i : Distance entre le centre de gravité de la lamelle et l'axe suivant lequel on calcul M_s (mm)

A_i : Aire de la lamelle i (mm²)

Taux de travail en cisaillement roulant :

$$\frac{\tau}{f_{vrR,0,d}} < 1$$

$$F_{v,R,0,d} = \frac{f_{v,R,k} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

F_{v,R,k} = résistance en cisaillement perpendiculaire au fil du panneau (N/mm²)

F_{v,R,k} = 0.8 à 1.2 N/mm² (marquage CE) ; 1.25 pour les panneaux utilisés (KLH)

Exemple du calcul de M_s pour un panneau 5 plis :

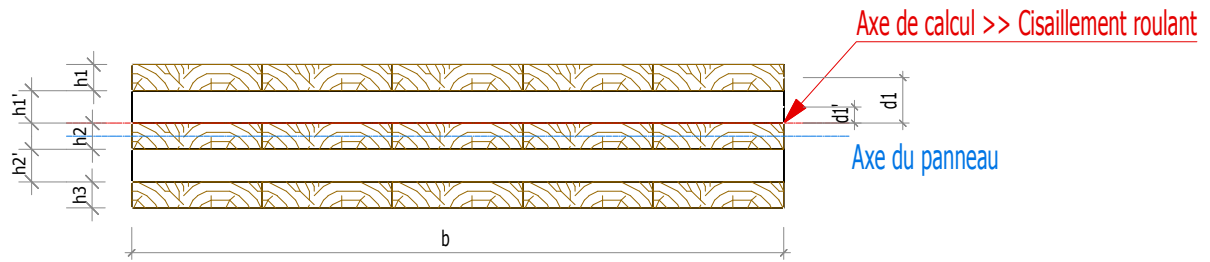


Figure 5 : cisaillement roulant

$$M_s = \gamma_1 * d_1 * A_1 + \gamma_1' * d_1' * A_1'$$

On a :

$$\gamma_1' = 1 ; A_1 = b * h_1 ; A_1' = b * h_1' ;$$

$$M_s = \gamma_1 * b * h_1 * (0.5 * h_1 + h_1') + b * (h_1')^2 * 0.5$$

8.1.3. Cisaillement

Le calcul du cisaillement longitudinal ne diffère pas de celui d'une section rectangulaire classique, hormis la correction ajoutée par le coefficient « c » qui permet de prendre en compte l'inertie efficace du panneau.

$$\tau = \frac{1,5 * V}{A * c} \text{ avec } c = \frac{I_{eff}}{I_{plein}}$$

I plein : Inertie physique du panneau (mm⁴)

Taux de travail en cisaillement :

$$\frac{\tau}{f_{v,d}} \leq 1$$

8.2. Calcul d'un linteau

Le linteau en CLT se modélise par une poutre encastree à ses deux extrémités soumise à de la flexion suivant deux de ses inerties (reprise des charges verticales et des charges de vent) ou à de la flexion ainsi qu'à de la compression (transmission des efforts de vent).

Afin de vérifier la section, il ne faudra pas oublier de prendre en compte la possibilité de flambement et de déversement du linteau (A42).

8.2.1. Contrainte de flexion

$$\sigma_m = \frac{M * y * E}{(EI)_{eff}} \text{ avec } y = \frac{h}{2} \text{ (contrainte max)}$$

Pour calculer I_{eff} , il y a plusieurs méthodes :

$$I_{eff} = \frac{h_{eff} * H^3}{12} = \frac{H^3}{12} * \sum_i h_i$$

H: profondeur (largeur) de la poutre (mm)

H_i = retombée des pièces de bois perpendiculaire à la charge (pièces travaillant en flexion) (mm)

Simple addition des inerties des pièces de bois travaillant en flexion :

$$I_{eff} = \sum_i \frac{b_i * h_i^3}{12}$$

Par la suite, nous utiliserons la deuxième méthode qui est plus pertinente à nos yeux et qui de plus, est préconisée sur l'avis technique du fabricant du matériau utilisé pour les calculs (KLH).

8.2.2. Flambement

Pour savoir si le linteau sera soumis au flambement, nous allons dans un premier temps calculer les longueurs de flambement $L_{f,y}$ et $L_{f,z}$ ainsi que les coefficients d'élancement λ_y et λ_z . Ensuite, nous déterminerons l'élancement relatif $\lambda_{rel,y}$ et $\lambda_{rel,z}$, puis les coefficients de flambement $k_{c,y}$ et $k_{c,z}$.

$L_{f,y}$ et $L_{f,z} = 0.5 * l$ (poutre bi-encastée, selon l'EC5)

$$\lambda_i = \frac{L_{fi}}{\sqrt{\frac{I_{eff,i}}{A}}}$$

I_i = Inertie efficace de la section autour de l'axe i (mm⁴)

A = aire de la section (mm²)

$$\lambda_{rel,i} = \frac{\lambda_i}{\pi} * \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0.05}}}$$

$f_{c,0,k}$: contrainte en compression axiale (N/mm²)

$E_{0.05}$: valeur à 5% du module d'élasticité parallèle au fil (N/mm²)

Si $\lambda_{rel} < 3$, il n'y a pas de risque de flambement : $k_{c,i} = 1$

Si $\lambda_{rel} > 3$, il faut calculer le coefficient de flambement :

$$K_{c,i} = \frac{1}{k_i + \sqrt{k_i^2 - \lambda_{rel,i}^2}}$$

$$k_i = 0.5 * (1 + \beta * (\lambda_{rel,i} - 0.3) + \lambda_{rel,i}^2)$$

$\beta = 0.1$ pour du LVL ou LC, $\beta = 0.2$ pour du bois massif

On choisira un $\beta = 0.1$ pour le CLT.

8.2.3. Déversement

Lorsque qu'une poutre est en flexion, sa partie comprimée (partie supérieure dans notre cas) peut flamber latéralement provoquant la flexion de la poutre dans sa petite inertie : c'est le déversement.

Dans notre cas, le plancher étant vissé au linteau par le dessus, cela empêche la partie supérieure du linteau de flamber latéralement : nous ne sommes donc pas sujets au déversement.

Taux de travail :

$$f_{m,0,d} = \frac{f_{m,0,k} * K_{mod}}{\gamma_m}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{f_{c,0,k} * K_{mod}}{\gamma_m}$$

k_m : Coefficient de redistribution des charges valant 0.7 pour une section rectangulaire

Sans risque de flambement :

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m * \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

Avec risque de flambement :

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m * \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

8.3. Calcul d' un mur vertical

Un mur vertical, en fonction de la direction de vent, va se retrouver sous des états de contraintes différents.

Lorsqu'il sera face au vent, le mur en CLT se modélise par une poutre rotulée à ses deux extrémités soumis à de la flexion (charge de vent) et à de la compression (charge verticale). Quand il sera dans la direction parallèle au vent, il sera soumis à de la compression et du cisaillement (car le mur sert de contreventement)

Comme pour le linteau, il ne faudra pas oublier de prendre en compte la possibilité de flambement et de déversement du mur.

8.3.1. Contrainte de flexion

Pour le calcul d'un mur en flexion, il faut utiliser la même méthode de calcul que celle indiquée dans la partie 8.1.1 de ce rapport.

8.3.2. Compression

Pour un mur vertical en CLT, on considère que ce sont les planches orientées verticalement qui reprennent les efforts de compression. Il faudra néanmoins vérifier si le mur est soumis au flambement en prenant en compte la totalité des plis.

Cette hypothèse est importante car si nous considérons que seuls les plis verticaux transmettent les efforts de compression, nous devons donc considérer que la surface engendrée par ces plis travaille en compression pour les pièces recevant un mur vertical. Nous allons voir par la suite que cette hypothèse n'est pas négligeable en ce qui concerne le taux de travail en compression de notre lisse de pose (A39).

8.3.3. Déversement

Pour savoir si notre mur est soumis au déversement, nous calculerons la charge critique σ_{crit} , afin de calculer à nouveau un rapport d'élanement λ_{rel} puis enfin le coefficient réducteur k_{crit} .

Calcul de $\sigma_{m,crit}$:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{m,crit}}{W_y} = \frac{\pi * \sqrt{E_{0.05} * I_{z,eff} * G_{0.05} * I_{tor}}}{L_{ef} * W_y}$$

$E_{0.05}$: valeur à 5% du module d'élasticité parallèle au fil (Mpa)

$G_{0.05}$: valeur du module de cisaillement parallèle au fil (Mpa)

I_z : Moment d'inertie selon l'axe faible z

I_{tor} : moment d'inertie de torsion

W_y : module d'inertie selon l'axe fort y

L_{ef} : longueur efficace de la poutre (ici, $l_{ef}/l= 0.9$)

Poutre une poutre rectangulaire en résineux :

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0.78 * b^2}{h * l_{ef}} * E_{0.05} \quad \text{avec } b, \text{ largeur de la poutre (mm)}$$

Calcul de λ_{rel} :

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,0,k}}{\sigma_{m,crit}}}$$

Calcul de k_{crit} :

$$k_{crit} = 1 \quad \text{pour } \lambda_{rel,m} \leq 0,75$$

$$k_{crit} = 1.56 - 0.75 * \lambda_{rel} \quad \text{pour } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4$$

$$k_{crit} = \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} \quad \text{pour } 1,4 < \lambda_{rel,m}$$

Taux de travail :

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{k_{crit} * f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} * f_{c,0,d}} \leq 1$$

8.3.4. Cisaillement

Quand le mur se retrouve perpendiculaire au vent, celui-ci est soumis à un effort de cisaillement car il sert de contreventement.

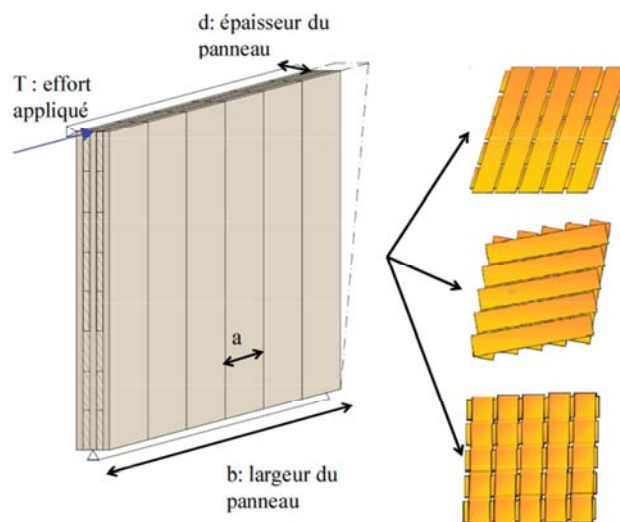


Figure 6 : Figure explicative extraite du FCBA

Etant donné que le panneau est constitué de plusieurs plis contrecollés, nous allons avoir plusieurs cisaillements à vérifier : le cisaillement global du panneau, le cisaillement des plans de croisement ainsi que le cisaillement des jonctions entre planches.

Nous allons donc déterminer 3 taux de travail T_1 , T_2 et T_3 .

Cisaillement global du panneau :

$$\tau_1 = \frac{T}{b * d}$$

$$f_{v,rd1} = \frac{f_{v,k1} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$T_1 = \frac{\tau}{f_{v,rd1}}$$

T : effort appliqué (N)

b : largeur du panneau (mm)

d : épaisseur du panneau (mm)

$f_{v,k1}$: résistance au cisaillement parallèle au fil du panneau (dans le cas d'une sollicitation perpendiculaire au panneau) (N/mm²)

$f_{v,Rd1}$: résistance de calcul au cisaillement parallèle au fil du panneau (dans le cas d'une sollicitation perpendiculaire au panneau) (N/mm²)

Cisaillement des plans de croisement :

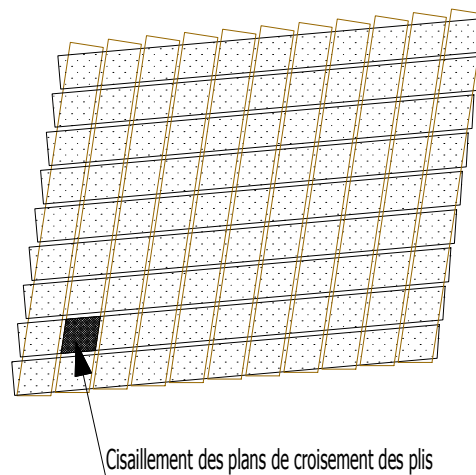


Figure 7 : Schéma du cisaillement des plans de croisement

$$\tau_2 = \frac{T * h * a}{2 * \sum I_p} \leq f_{v,R,rd2}$$

$$f_{v,R,rd2} = \frac{f_{v,R,k2} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$T_2 = \frac{\tau_2}{f_{v,R,rd2}}$$

T : effort appliqué (N)

b : largeur du panneau (mm)

d : épaisseur du panneau (mm)

$f_{v,R,k2}$: résistance au cisaillement roulant (N/mm²)

$f_{v,R,rd2}$: résistance de calcul au cisaillement roulant (N/mm²)

a : largeur d'un plis (mm)

Calcul de I_p :

Dans la formule ci-dessus, I_p correspond au moment d'inertie polaire des croisements entre les plis verticaux et horizontaux. Chaque plis, via le collage, va reprendre une partie du moment qui est soumis à l'ensemble du panneau.

La somme des Inerties polaires va donc être la somme au carré de la distance entre le centre de gravité G (qui correspond au centre de raideur pour du CLT) et le centre de gravité $g_{i,j}$ de chaque surface de croisement.

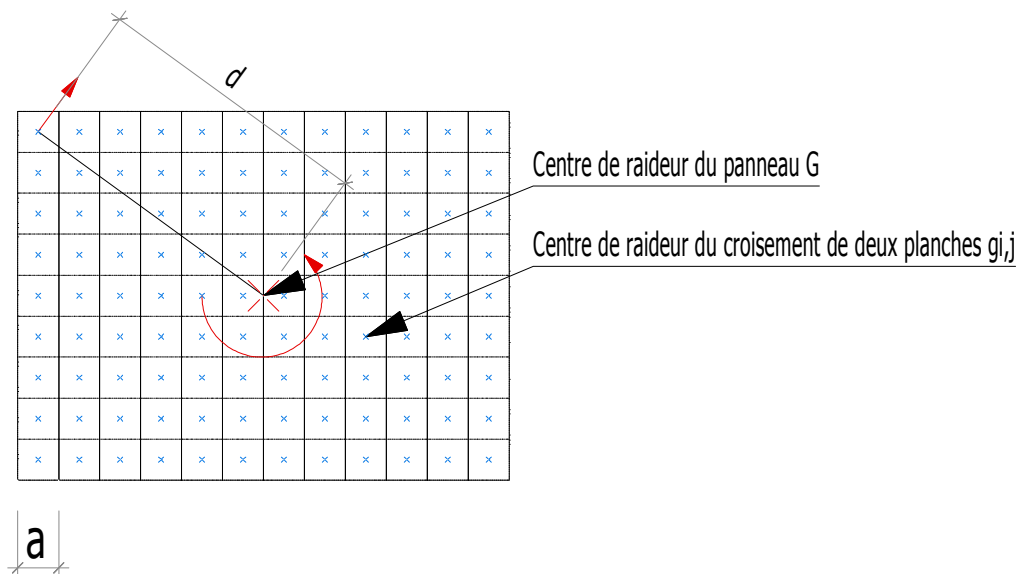


Figure 8 : Schéma explicatif du calcul de I_p

$$\sum I_p = \sum (x_G - x_{g_{i,j}})^2 + (y_G - y_{g_{i,j}})^2$$

Cisaillement des jonctions entre planches :

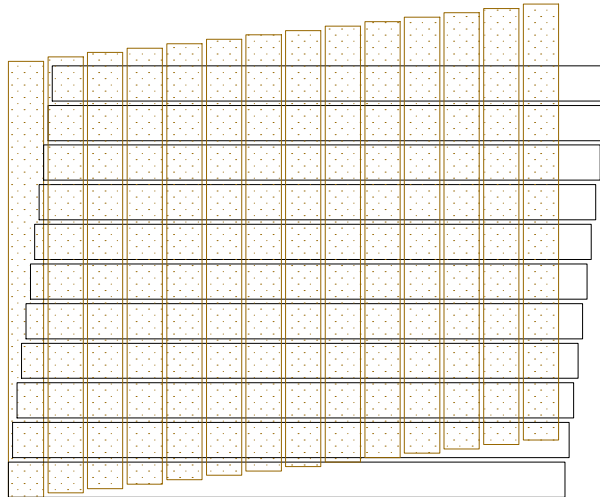


Figure 9 : Schéma du cisaillement de la jonction entre les plis

$$\tau_3 = \frac{T}{b * d_{min}} \leq f_{v,Rd}$$

$$f_{v,Rd3} = \frac{f_{v,k3} * k_{mod}}{\gamma_m}$$

$$T_3 = \frac{\tau_3}{f_{v,Rd3}}$$

T : effort appliqué (N)

b : largeur du panneau (mm)

d_{min} : minimum de la somme des plis dans transversaux ou longitudinaux (mm)

$f_{v,k3}$: résistance au cisaillement parallèle au fil du panneau (dans le cas d'une sollicitation dans le plan du panneau) (N/mm²)

$f_{v,Rd3}$: résistance au cisaillement parallèle au fil du panneau (dans le cas d'une sollicitation dans le plan du panneau) (N/mm²)

8.4. Déplacement horizontal du mur

Nous avons vu dans les paragraphes précédents comment calculer la résistance d'un mur sollicité en compression, en flexion et en cisaillement. Nous allons voir dans cette partie comment calculer le déplacement d'un mur, afin de pouvoir vérifier si est admissible aux ELS. Généralement, le déplacement d'un mur ne doit pas excéder h/500 (avec h la hauteur de l'étage) et la somme des déplacements des étages ne doit pas excéder H/300 (avec H la hauteur totale du bâtiment)

Le mur travaillant en contreventement va se déplacer horizontalement de deux façons : en se déformant dans son plan et via le glissement de ses assemblages.

8.4.1. Déformation dans le plan

La déformée du mur dans son plan va dépendre de son module de cisaillement longitudinal G_{mean} , de sa largeur b , de sa hauteur h , de son épaisseur d , ainsi que de la force appliquée en tête de panneau F .

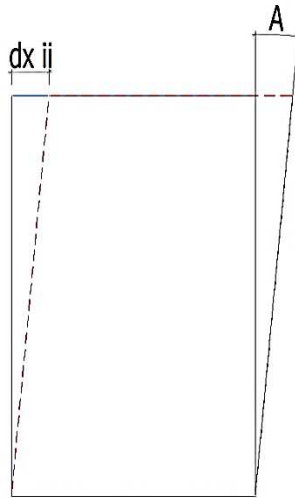


Figure 10 : Déformation d'un panneau dans son plan

Le déplacement dx_{ii} sera calculé comme suit :

$$\tau = G * A = \frac{F}{b * d}$$

Or on a :

$$A = \frac{dx1}{h}$$

On obtient donc :

$$dx_{ii} = \frac{F * h}{b * d * G}$$

8.4.2. Déplacement des assemblages

Le déplacement via le glissement des assemblages va dépendre de la raideur $K_{\text{ser, fin}}$ (A43) de ces assemblages. Les assemblages en pieds sont composés d'une équerre fixée avec des vis travaillant en traction et en cisaillement.

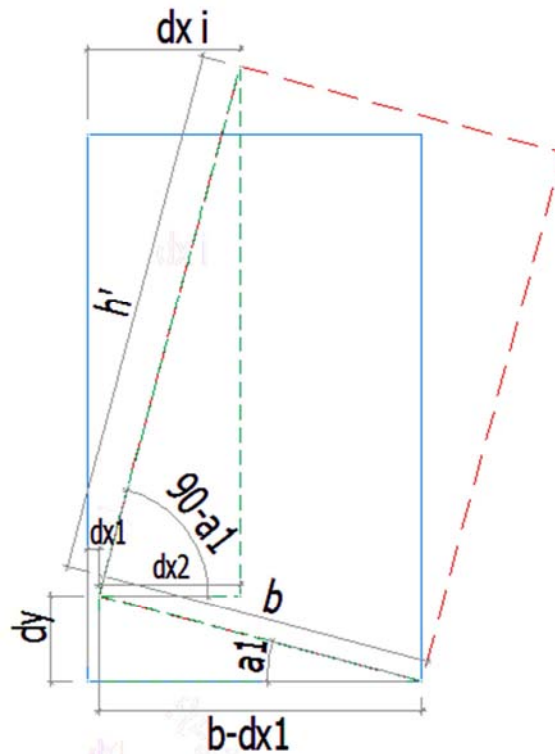


Figure 11 : Déplacement du mur via le déplacement de ses assemblages

En utilisant le théorème de pythagore, on obtient :

$$\begin{aligned} dx1 &= -\cos(a1) * b + b \\ dx2 &= \cos(90 - a1) * h' \end{aligned}$$

Le déplacement vertical dy , dépend de la raideur de l'assemblage en pied $K_{ser,fin,equerre}$.

$$a1 = \tan^{-1}\left(\frac{dy}{b}\right)$$

$$dy = \frac{F}{K_{ser,fin}}$$

$$h' = \sin(90 - a1) * h$$

h : Hauteur du panneau (mm)

On obtient : $dx_i = dx1 + dx2$

Déplacement total :

Le déplacement total d_x du panneau correspond à la somme des deux déplacements dx_i et dx_{ii} .

$$dx = dx_i + dx_{ii}$$

Un tableau synthétique concernant le déplacement maximum sur le système de mur le plus sollicité est présenté en A41.

9. DESCENTE DE CHARGE

Avant de pouvoir calculer les pièces et assemblages de notre bâtiment, il est important de savoir où est-ce que les efforts cheminent à travers celui-ci. Cette étape est primordiale lors de la partie conception du bâtiment ainsi que dans la partie calcul (« savoir ce que l'on doit vérifier »).

Le poids propre, la neige ainsi que les charges d'exploitation sont repris par le plancher de toiture ainsi que les planchers intermédiaires (A33,A34,A35). Ils sont transmis aux fondations par les murs extérieurs, les murs de refends et les sommiers.

Les forces de vents appliquées aux murs sont transmises au diaphragme horizontal qui transmet à son tour ces efforts aux systèmes de murs du niveau inférieur (murs contreventant) et ce, jusqu'aux fondations. L'effort de vent dans le plan des systèmes de murs verticaux est transmis d'un mur à un autre par un linteau ou un sommier. Chaque diaphragme horizontal est vissé aux murs qui le soutiennent, et la jonction d'un panneau en plancher ne tombe jamais à la verticale de la jonction d'un mur, ce qui permet de transmettre les efforts sans avoir besoin d'une lisse filante.

L'ensemble des murs reposant sur des lisses de pose, il faudra bien veiller à vérifier la lisse basse en compression. Ayant comme hypothèse que les charges verticales sont reprises uniquement par les plis verticaux de nos murs, il semblerait pertinent de prendre la surface de ces plis comme surface chargée sur la lisse basse. Or, les plis horizontaux doivent transmettre eux aussi une charge de compression.

Nous avons donc 3 hypothèses de calcul:

- 1) La totalité de la surface du mur transmet les efforts de compression
- 2) Les plis verticaux transmettent les efforts de compression
- 3) Les deux plis transmettent des efforts au prorata de leur raideur

Nous avons effectué les calculs selon ces trois hypothèses (A39) et nous pouvons voir que les hypothèses de calcul ont une part non négligeable concernant le taux de travail de notre lisse basse. Voici un récapitulatif des résultats :

Lisse basse				
	Taux de travail en compression			
Classe du bois	C24	C30	Gl24h	D30
Hypothèse 1	106%	88%	95%	33%
Hypothèse 2	151%	126%	134%	47%
Hypothèse 3	136%	113%	121%	42%

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats des lisses basses en compression

D'après ces résultats, on peut juger l'importance de nos hypothèses. En effet, on peut voir que de calculer les efforts au prorata des raideurs des plis horizontaux et verticaux (hypothèse 3) n'est pas aussi défavorable que de considérer que seule la surface créée par les plis verticaux (hypothèse 2) travaille en compression. Nous pouvons aussi voir que de

considérer la totalité de la surface du mur comme surface chargée (hypothèse 1) est favorable par rapport à l'hypothèse 2.

Nous avons calculé la compression de la lisse basse avec plusieurs essences de bois différente. L'utilisation d'un feuillus semble être une solution adaptée à notre cas étant donné les efforts de compression engendré par les murs.

CONCLUSION

Notre étude thermique permet de valider notre conception. Les détails proposés (associés à une bonne mise en œuvre) permettent à notre bâtiment d'avoir des besoins en chauffage équivalents à ceux d'un standard passif (15kWh/m²/an). Nous savons aussi qu'en ajoutant des occultations sur les baies vitrées, nous obtenons une qualité de vie plus confortable. Cependant si le projet devait se concrétiser, il serait souhaitable de faire une étude plus poussées avec une vérification à la RT2012.

Le métré donne une première idée du coût de la structure. Les lots ainsi décrits pourraient être chiffré en lançant des appels d'offres aux entreprises et ainsi affiner le coût. A première vue, la structure en CLT est moins chère que celle en béton, mais nous ne pouvons gager cette conclusion car nous n'avons pas assez de précision sur ce qui a été pris en compte dans le chiffre trouvé pour le coût d'un bâtiment R+3 en dur. Il faudrait là encore détailler d'avantage pour s'assurer du bien fondé de notre résultat.

Après un pré-dimensionnement en utilisant les abaques des fabricants, la méthodologie de calcul développée au sein de ce rapport nous a permis de confirmer et d'optimiser les sections pour ce bâtiment. Même si les méthodes de calcul diffèrent d'un fabricant à un autre, la grande majorité d'entre eux se basent sur la théorie des poutres assemblées mécaniquement (Annexe B de l'EC5).

De manière plus générale, ce projet a été pour nous l'occasion de mettre à l'épreuve nos connaissances acquises depuis le début de nos études dans le domaine de la construction bois. Chacun à trouver à apporter à l'autre ses points forts. Nous avons su être complémentaire dans notre démarche. Cependant nous aurions aimé avoir plus de temps, et sans doute plus d'éléments pour mener plus loin notre étude (par exemple avoir un chiffrage détaillé de la construction en béton pour faire un comparatif précis avec notre solution, avoir accès à une base de données de tarifs de matériaux/pose, pouvoir faire une étude RT2012, ...) Nous sommes quand même satisfait de l'avancée de notre projet et avons pu affiner nos connaissances au fil des semaines. La répartition du travail a été là aussi une chose primordiale pour le bon déroulement, tout comme la gestion du temps. Un travail d'équipe, une bonne planification, savoir où trouver les informations, ont été des éléments importants de notre projet et nous servirons dans notre futur travail d'ingénieur.

ANNEXES

- A1 : Planning des tâches
- A2 : Détail parois extérieures
- A3 : Détail planchers intermédiaires
- A4 : Détail toiture
- A5 : Détail parois porteuses mitoyennes
- A6 : Détails cloisons légères
- A7 : Zonage par étage
- A8 : Détail parois extérieures béton
- A9 : Détail planchers intermédiaires béton
- A10 : Détail toiture béton
- A11 : Détail parois porteuses mitoyennes béton
- A12 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass
- A13 : Thermique CLT ventilation double-flux sans Bypass
- A14 : Thermique Béton ventilation double-flux avec Bypass
- A15 : Thermique Béton ventilation double-flux sans Bypass
- A16 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass + 50mm isolation
- A17 : Détails parois extérieures CLT + 50mm isolation
- A18 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass + occultation
- A19 : Thermique scénarios d'occupation
- A20 : Thermique scénario de chauffage
- A21 : Thermique scénario de ventilation
- A22 : Thermique scénario d'occultation
- A23 : Thermique valeurs ponts thermiques prédéfinis Th-BCE 2012
- A24 : Métré
- A25_1: Détails balcons sur partie courante
- A25_2: Détails balcons sur menuiserie
- A26: Détails balcons CLT filant
- A27: Détails liaison mur/plancher
- A28 Détails angles
- A29: Détails acrotère – liaison mur/toiture
- A30 : Liaison mur extérieur/refend
- A31 : Liaison bas de mur
- A32 : Liaison murs extérieurs
- A33 : Calcul neige
- A34 : Calcul vent
- A35 : Calcul poids propres
- A36 : Calcul panneaux en toiture
- A37 : Calcul panneaux en plancher
- A38 : Calcul sommiers
- A39 : Calcul lisses basses
- A40 : Calcul murs porteurs
- A41 : Calcul contreventement
- A42 : Calcul linteaux
- A43 : Calcul assemblage équerres
- A44 : Calcul assemblage mur extérieur/mur de refend

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Code de la construction et de l'habitation. Art*111-18*
- [2] *Circulaire interministérielle relative à l'accessibilité des bâtiments d'habitation. 2007. Annexe 6*
- [3] *Logiciel Sketchup - www.sketchup.com [En ligne]*
- [4] *Logiciel Autocad – www.autodesk.fr [En ligne]*
- [5] *Arrêté relatif à la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation. 31 janvier 1986*
- [6] *Arrêté relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique. 30 juin 1999*
- [7] *CMP Bois, Un immeuble bois R+8 en KLH. Juillet 2009. [En ligne] <http://www.cmpbois.com/articles/20090709stadtbaus.html>.*
- [8] **Brouck, Thaïs.** *Le Moniteur.* 18 Octobre 2013. [En ligne] <http://www.lemoniteur.fr/141-industrie-negoce/article/actualite/22616462-avec-woodem-guillaume-poitrinal-se-lance-dans-la-construction-bois>.
- [9] **Cagnon, Sylvain et Pirvu, Ciprian.** *CLT - Manuel sur le bois lamellé-croisé.* Edition Canadienne, 2011
- [10] **ADEME, Ministère de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement.** *Réglementation thermique 2012: un saut énergétique pour les bâtiments neufs.* Avril 2011.
- [11] *Loi de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement. 3 août 2009. n° 2009-967.*
- [12] *Effinergie. www.effinergie.org. [En ligne]*
- [13] *Arrêté relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments . 26 octobre 2010.*
- [14] **CSTB.** *Annexe à l'arrêté portant approbation de la méthode de calcul Th-BCE 2012: Méthode de calcul Th-BCE 2012.*
- [15] **CD2E.** *Document comparative des labels de performance énergétique. 25 mars 2009 [En ligne] http://www.cd2e.com/sites/default/files/Cd2eStatic_contenu/mercrediinfo/tableau_comparatif_labels.pdf*
- [16] *La maison passive. [En ligne] <http://www.lamaisonpassive.fr/spip/spip.php?article61>*
- [17] *Solutions Bétons - Point de vue de l'économiste. Construction Moderne. Décembre 2012. n°139.*
- [18] **CSTB.** *Carnets de détails pour l'accessibilité des balcons, des loggias et des terrasses dans les constructions neuves. 2010. Convention Y 08-15 - Action 19.*
- [19] *Durabilité du bois et des produits dérivés du bois, définition des classes d'emploi. NF EN 335-2.*
- [20] **Fellmoser et Blass.** *Influence of rolling shear modulus on strength and stiffness of structural bonded timber elements. Août 2004*
- [21] **Kreuzinger, H.** *Platten, Scheiben und Schalen. Ein Berechnungsmodell für gängige, Statikprogramme, Bauen mit Holz. 1999*
- [22] *Eurocodes 5. Annexe B*
- [23] **Bejtka I.** *Cross (CLT) and diagonal (DLT) laminated timber as innovative material for beam elements. 2008*

RESUME

Notre projet est l'étude statique, thermique et le chiffrage d'un petit collectif type R+3 réalisé en CLT.

L'étude mécanique du bâtiment se divise en plusieurs étapes ; celles-ci seront réalisées aux Eurocodes. La première recense les efforts que va devoir reprendre notre bâtiment : effort de vent, de neige, poids propre et charges d'exploitation. Nous allons ensuite devoir dimensionner le bâtiment aux ELU (sécurité) puis aux ELS (confort d'utilisation). Nous détaillerons les calculs, en particulier ceux relatifs au matériau nouveau qu'est le CLT, dont la méthode de calcul n'est pas encore clairement établie dans l'EC 5.

L'étude thermique est réalisée sur le logiciel Pléiades. Elle permet de valider nos détails de composition de parois. Ces détails de conception sont insérés dans notre compte-rendu afin de mieux appréhender le système constructif. Les scénarios de chauffage, ventilation, occupation, (...), sont eux aussi décrits dans notre rapport.

Le chiffrage permettra d'avoir une idée approximative de la réalisation d'un tel bâtiment. La réalisation d'un modèle 3D, offre la possibilité d'obtenir rapidement un cubage de bois.

Enfin nous avons étoffé notre compte-rendu par une présentation du produit CLT, produit de plus en vogue dans la construction de bâtiment en hauteur.

Mot-clés : CLT, Thermique, RT2012, R+3, Chiffrage

Our project is the static, thermal and costing study of a small collective building R+3 in CLT .

The static study of the building is divided into several steps, they will be carried out according to the Eurocodes standards. The first part identifies the efforts that our building will have to withstand: wind, snow, own weight and operating expenses. Then, we will have to calculate different Eurocodes parts: the ELU (security) and the ELS (ease of use) . We will detail the calculations , especially those related to the CLT (a new material); the calculation method is not yet clearly standardised in the Eurocode 5 standart.

The thermal study is performed on the "Pleiades" software. It validates our wall composition and our constructive details. These design details are inserted in this report in order to understand the constructive system easily. Scenarios for heating, ventilation, occupation , ect , are also described in our report.

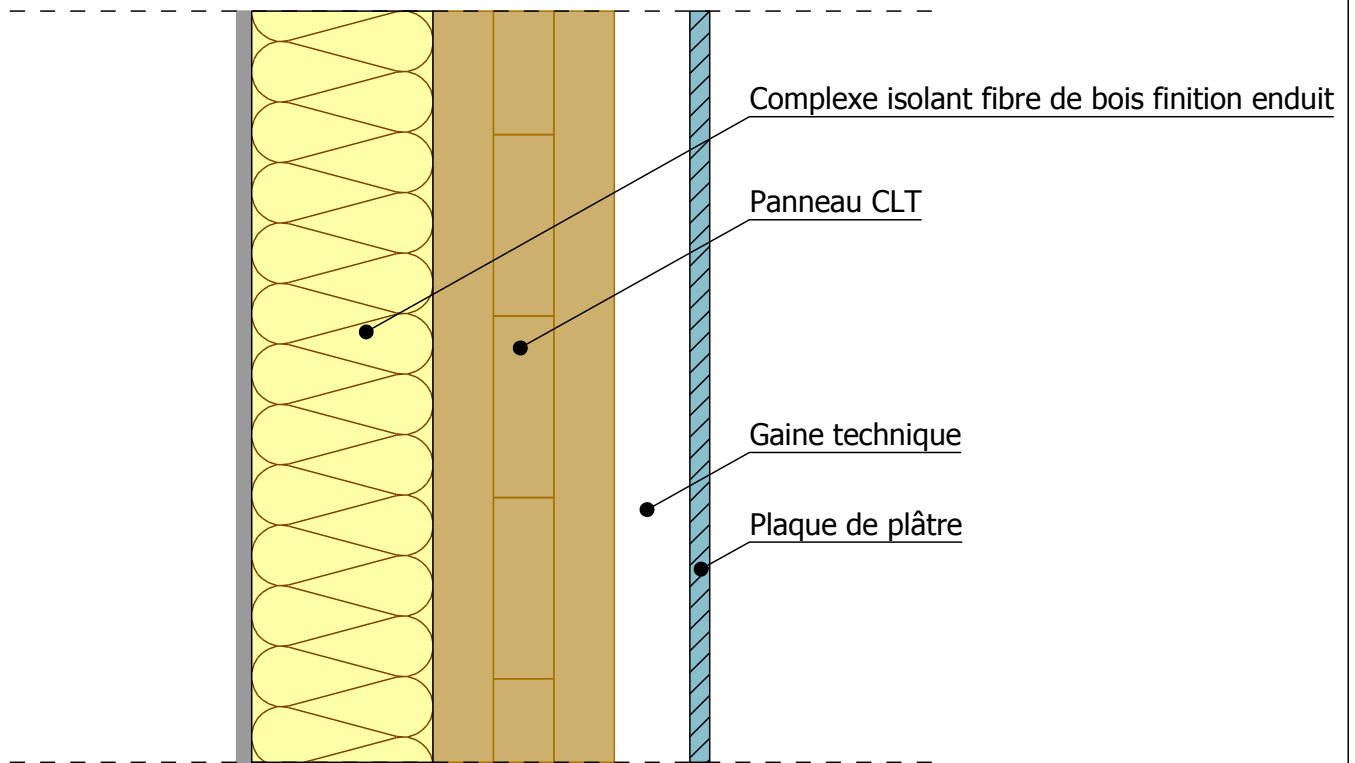
We will establish a measurement of our building, according to our design, in order to have a rough idea of the price of the building. The realization of a 3D model, offers the possibility to obtain a scaling wood quickly.

Finally, we have expanded our report with a presentation of the CLT, product more and more popular in the construction of high wood building.

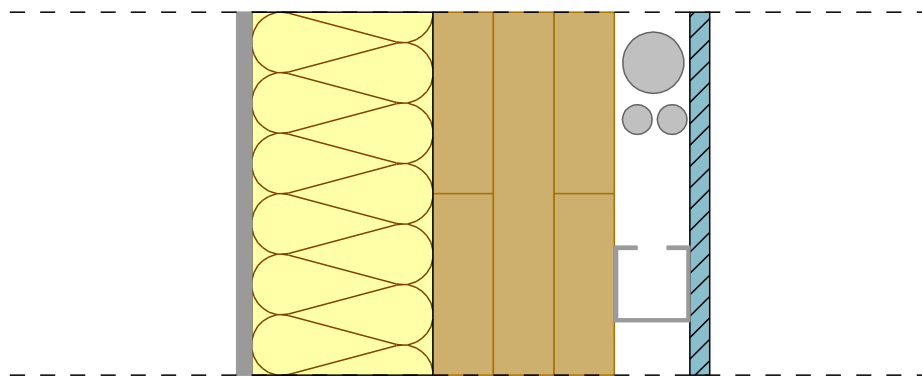
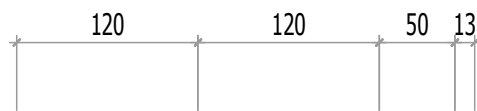
Keywords : CLT , Thermal, RT2012 , R+3 , measurement

A1 : Planning des tâches

	Sem. 48	Sem. 49	Sem. 50	Sem. 51	Sem. 52	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7	Sem. 8
Etude sujet													
Composition													
Modèle 3D													
Pré-rapport													
Etude neige													
Etude vent													
Statique													
Thermique													
Métre													
CR Ecrit													
CR Oral													
Présentation													



Vue en coupe



Vue de dessus

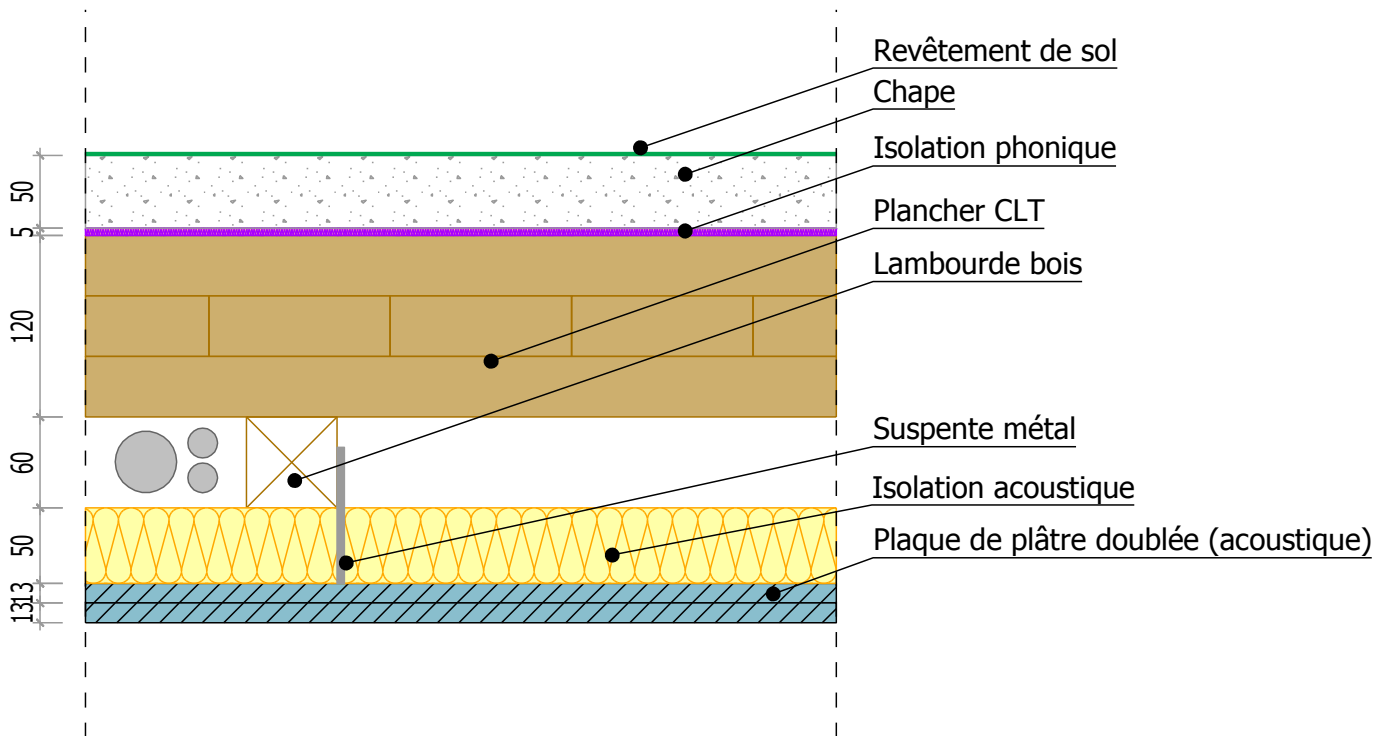
Parois extérieures

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A2

Echelle: 1:5



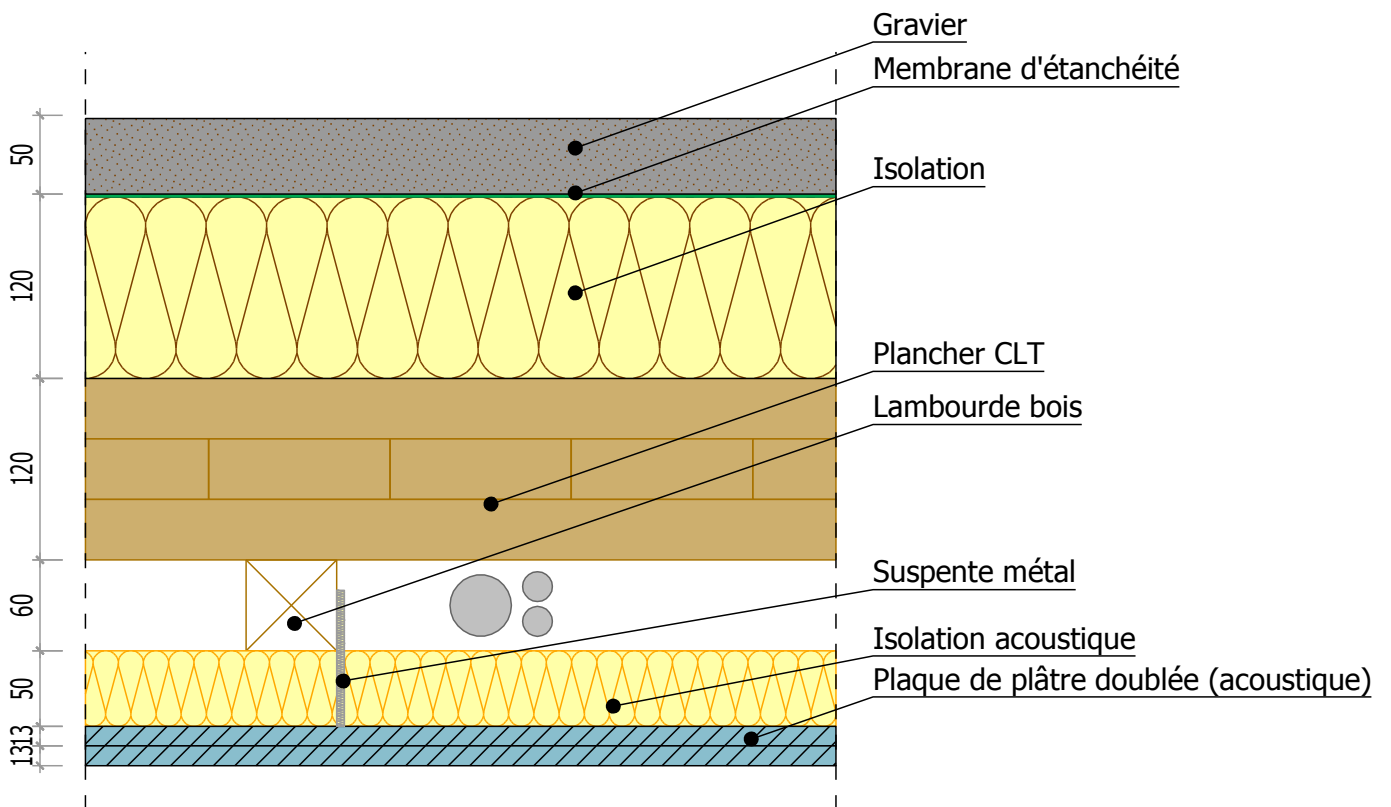
Planchers intermédiaires

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A3

Echelle: 1:5



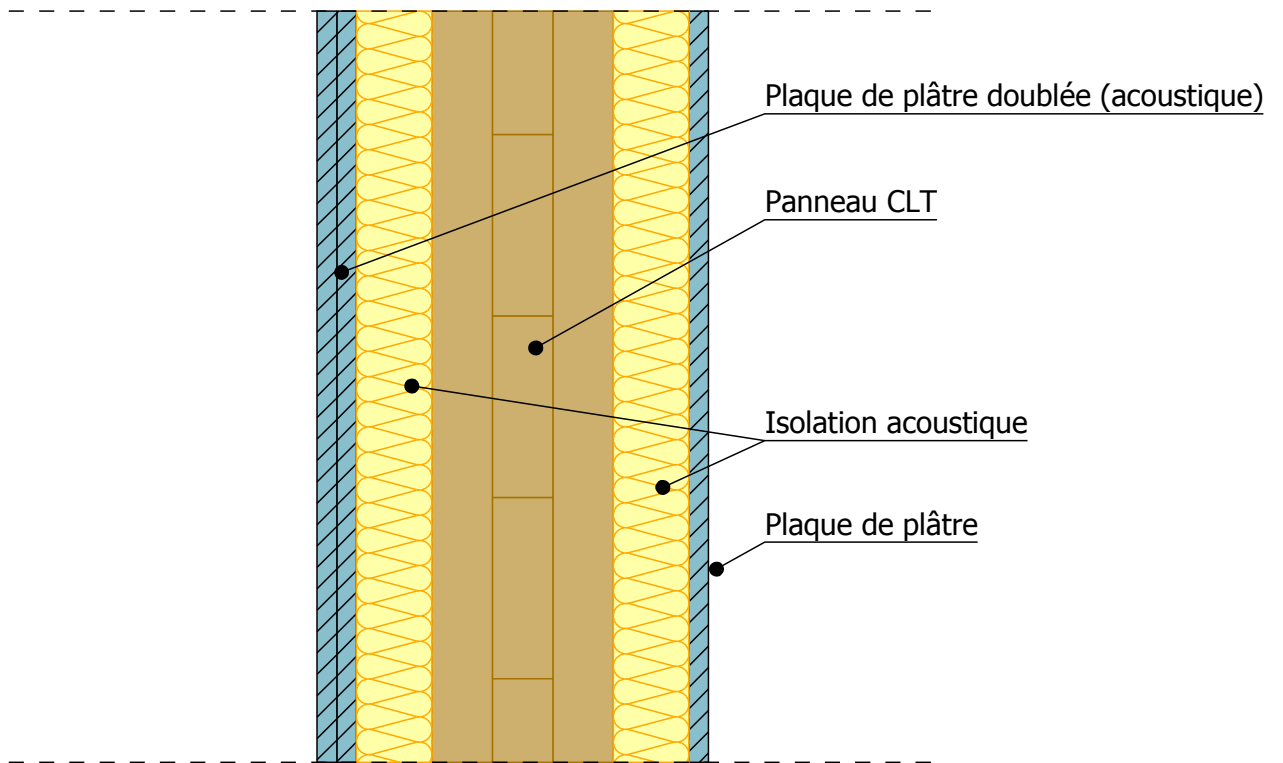
Toiture

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

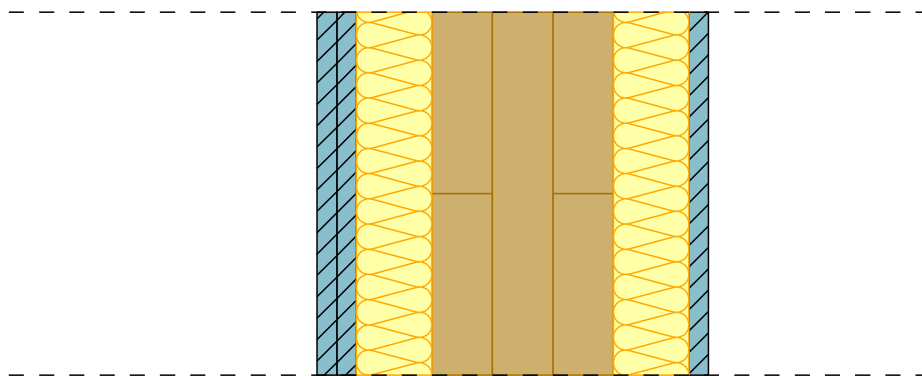
N°: A4

Echelle: 1:5



Vue en coupe

1313 50 120 50 13



Vue de dessus

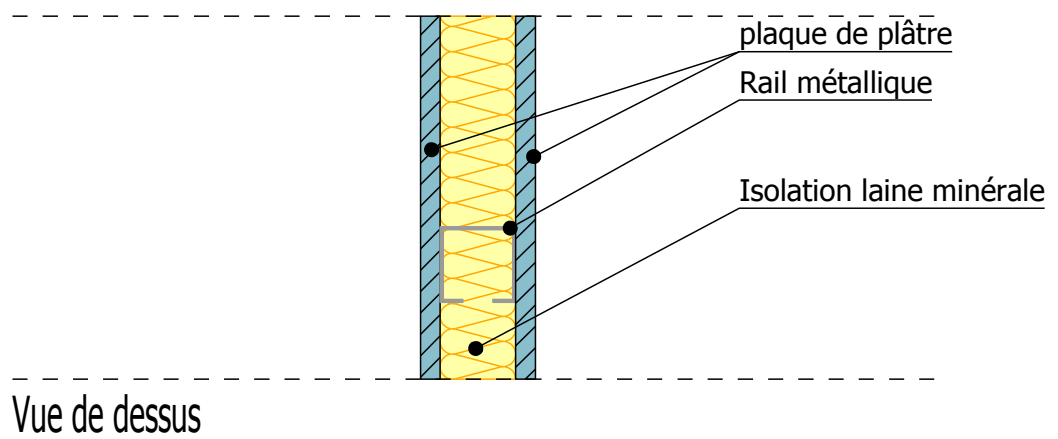
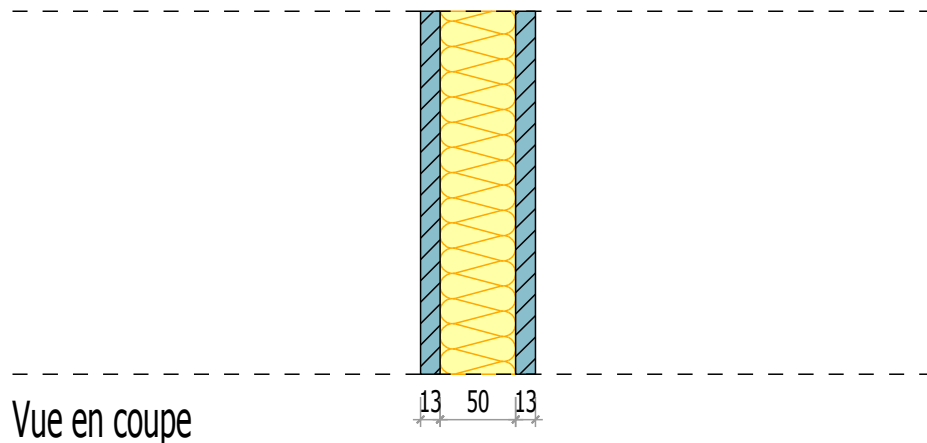
Parois porteuses mitoyennes

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A5

Echelle: 1:5



Cloison légères

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A6

Echelle: 1:5

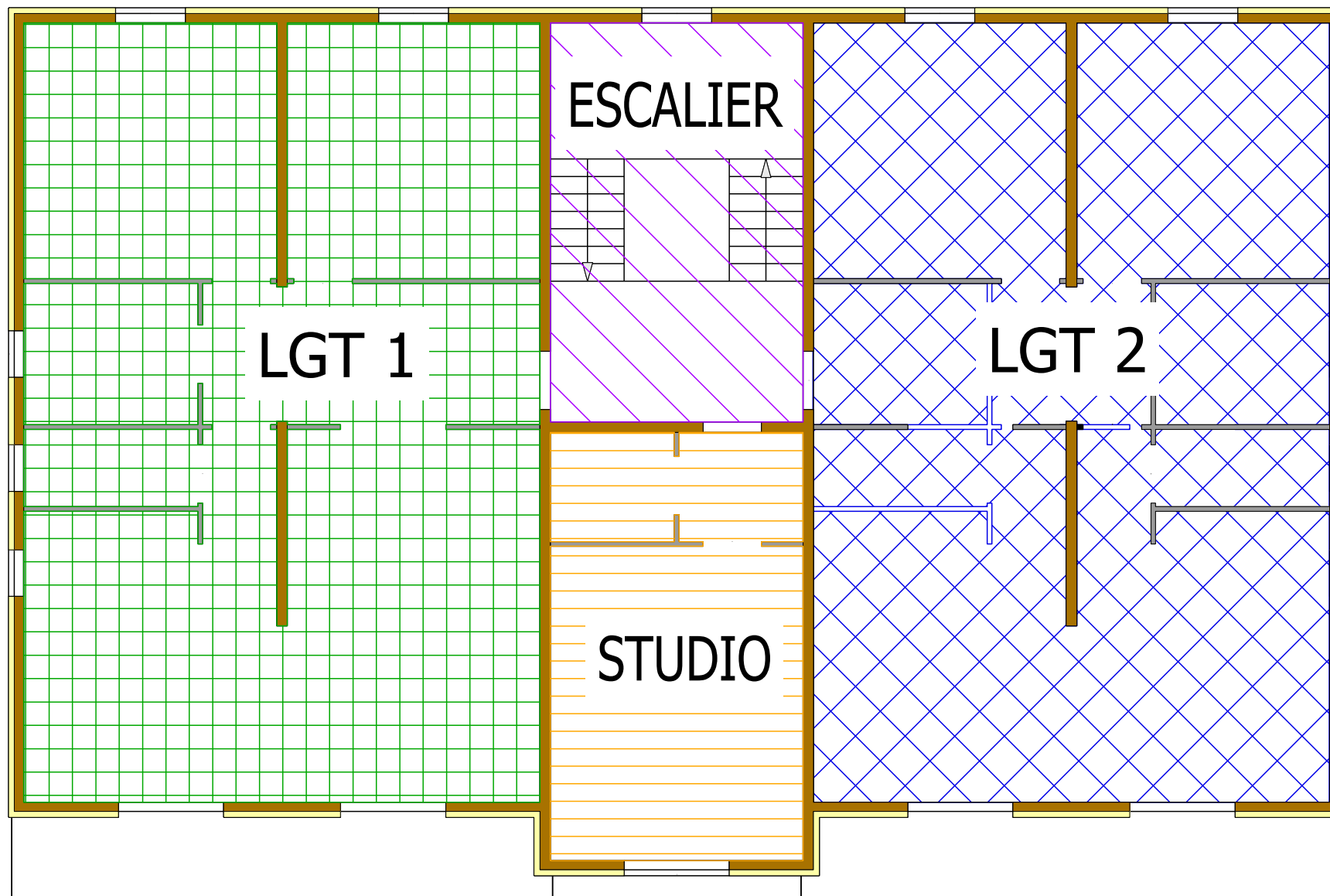
Zonage étage

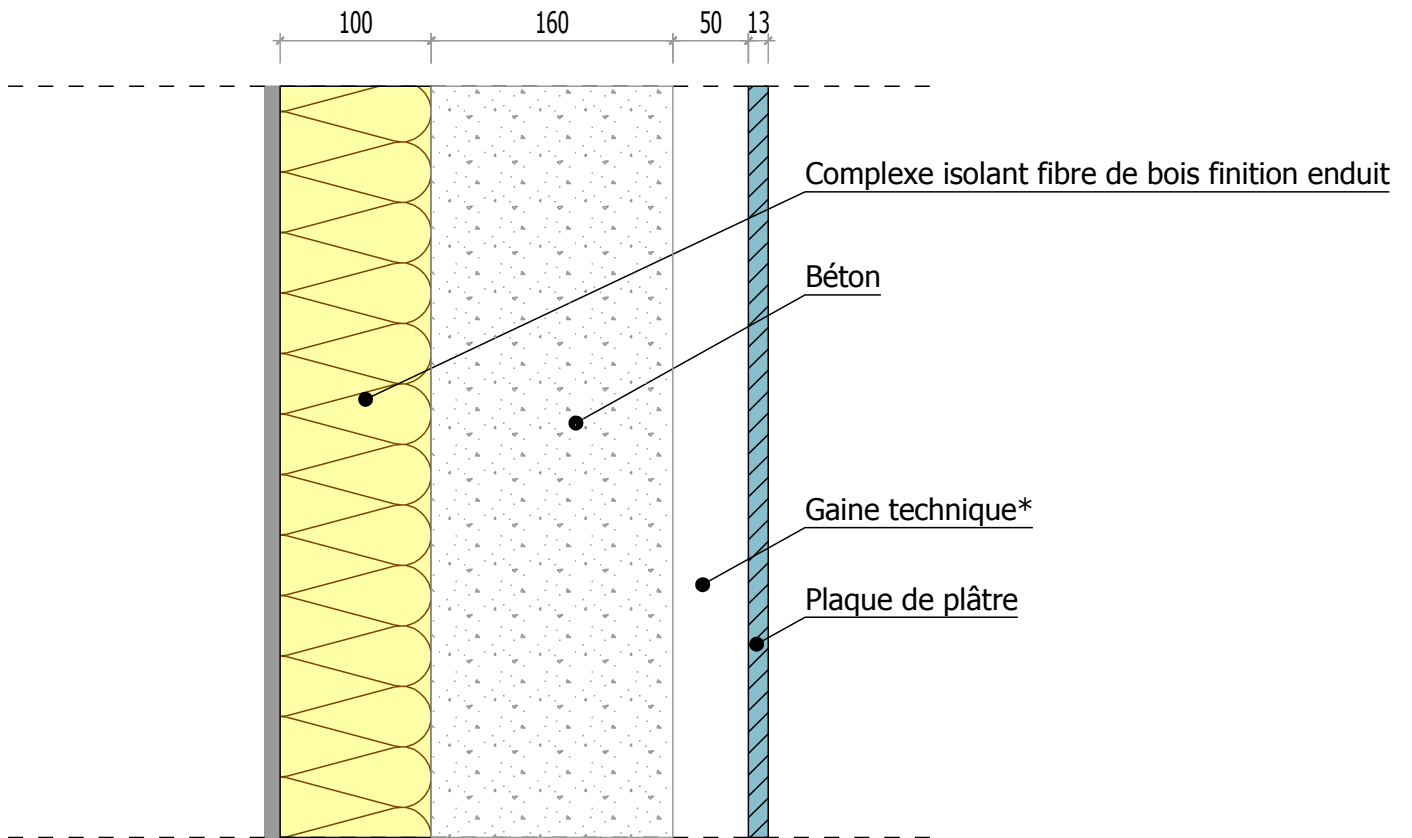
N°: A7

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

Echelle: 1:100

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse





Vue en coupe

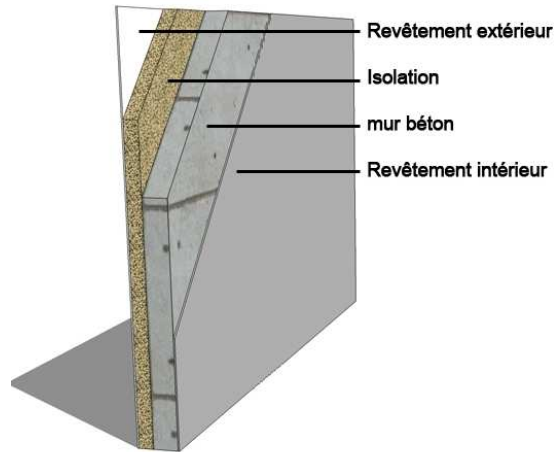


Image extraite du rapport de Centrale Lyon
 "composition parois porteuses extérieures"

* variante par rapport à la composition proposée par Centrale Lyon

Parois extérieures

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A8

Echelle: 1:5

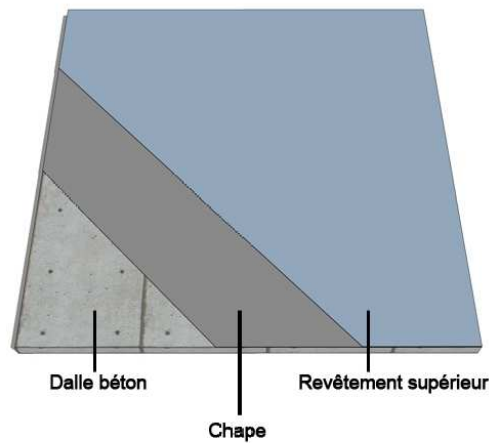
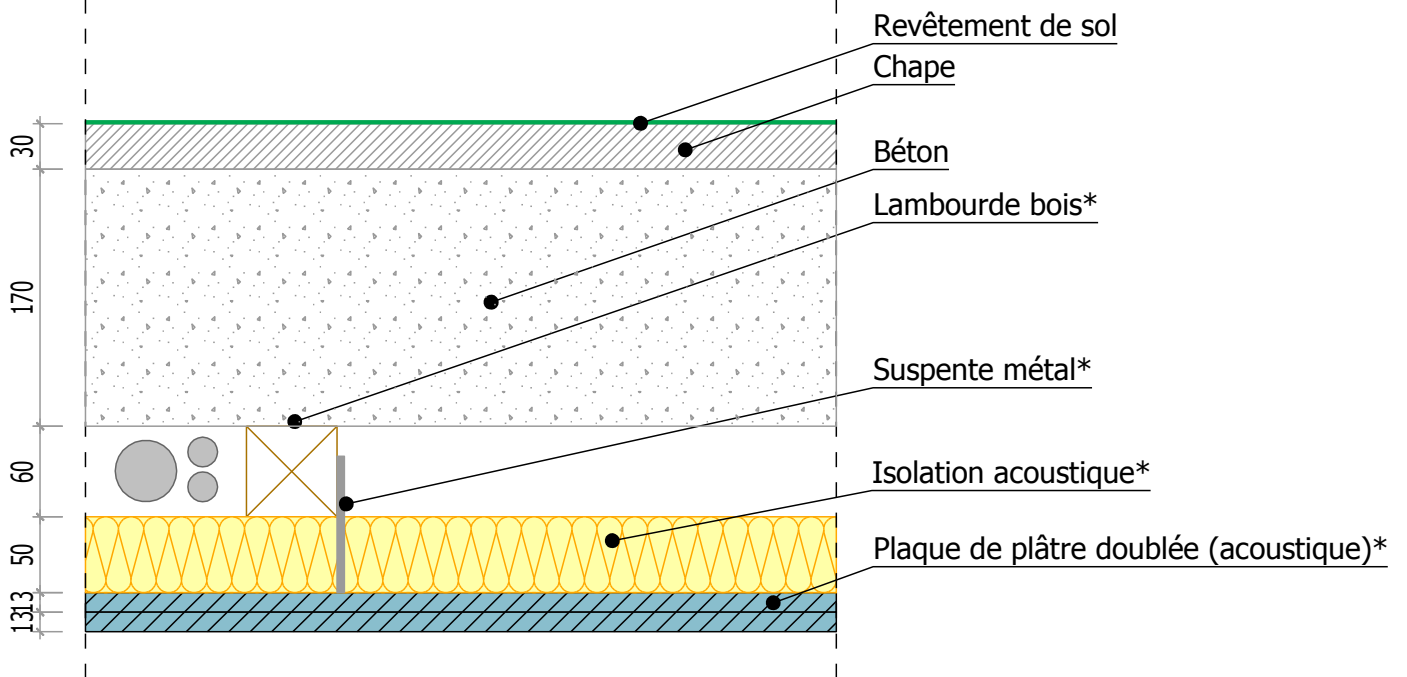


Image extraite du rapport de Centrale Lyon
"composition plancher"

* variantes par rapport à la composition proposée par Centrale Lyon

Planchers intermédiaires

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A9

Echelle: 1:5

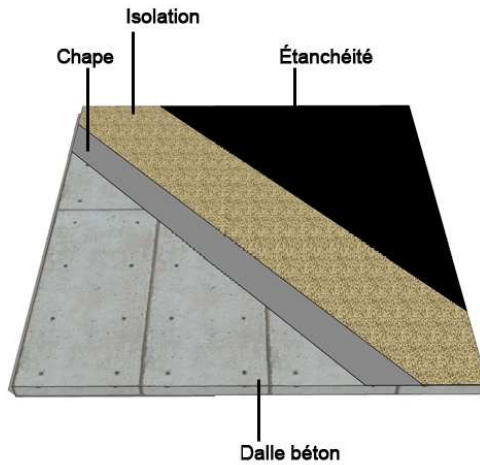
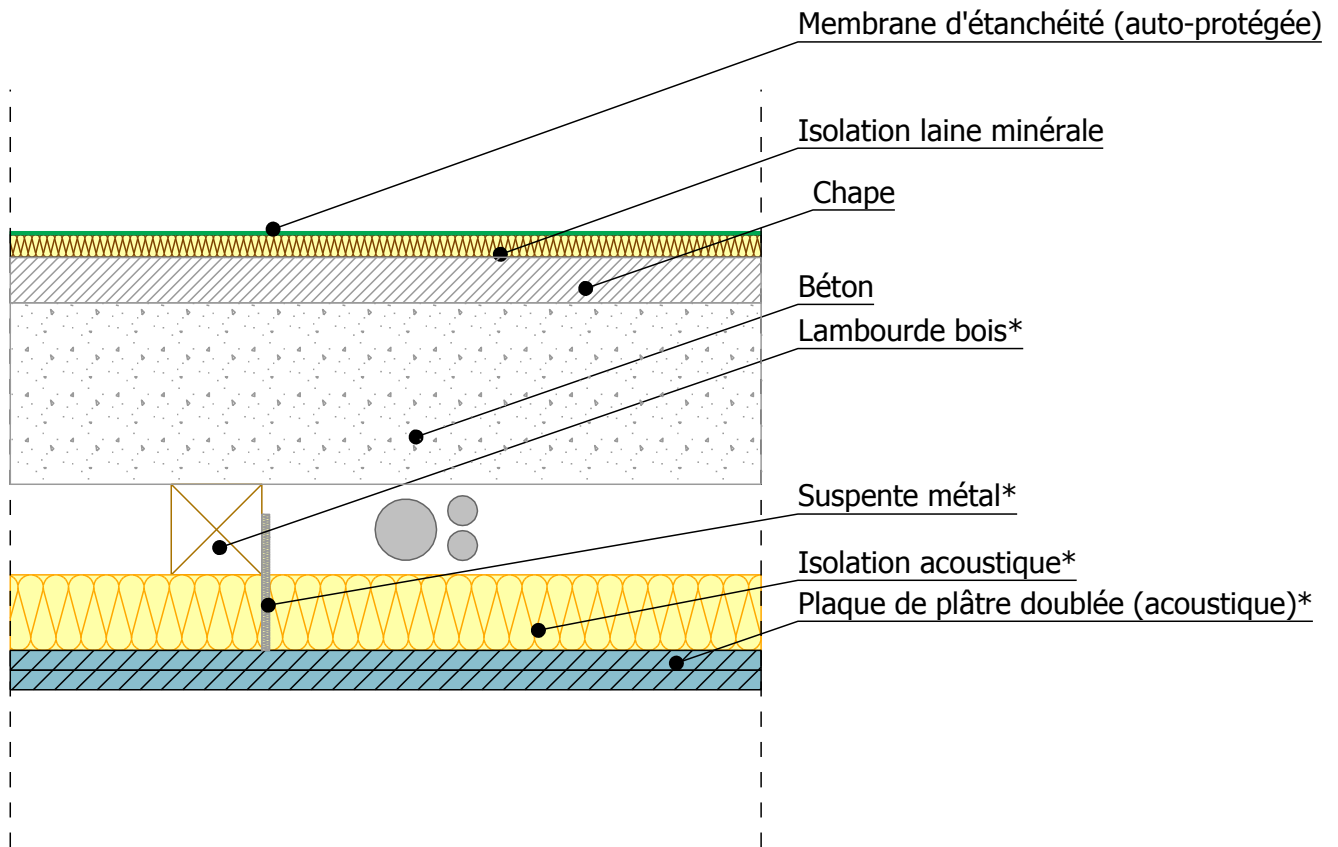


Image extraite du rapport de Centrale Lyon
"composition toiture"

* variante par rapport à la composition proposée par Centrale Lyon

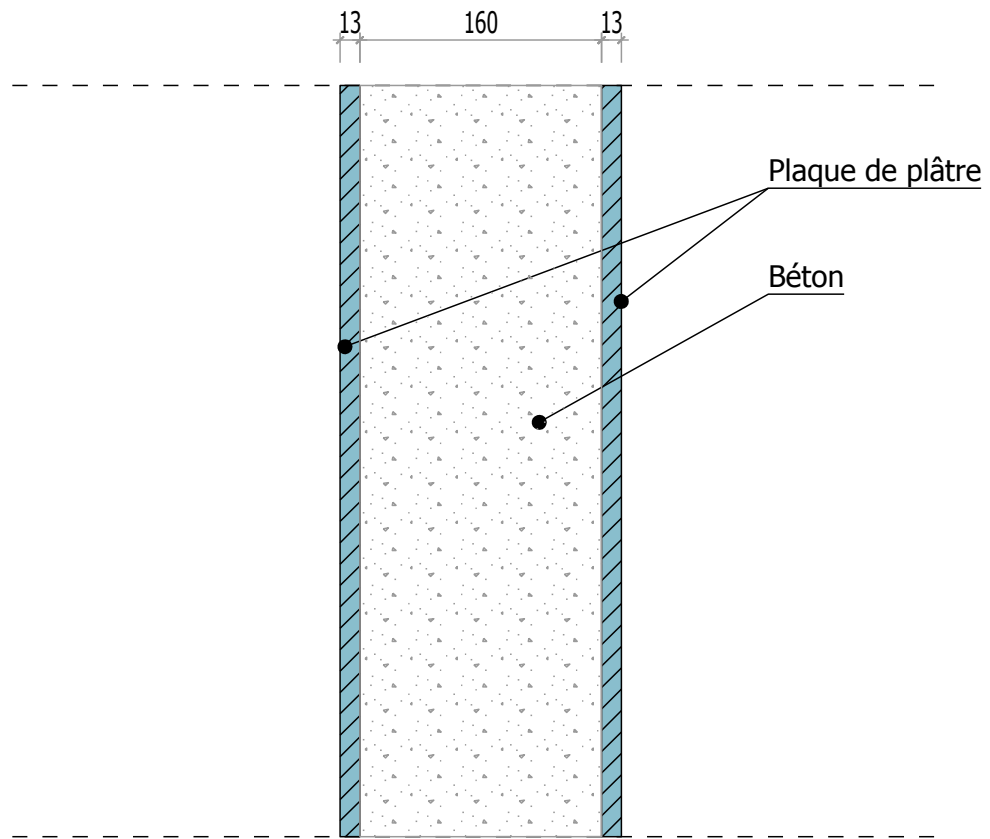
Toiture

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A10

Echelle: 1:5



Vue en coupe

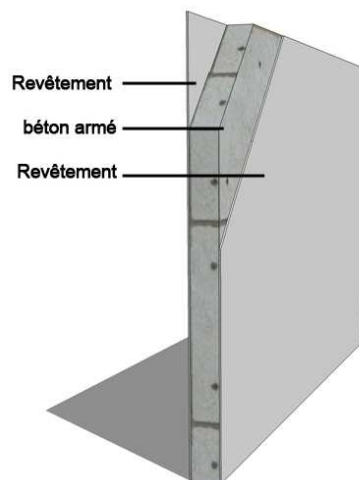


Image extraite du rapport de Centrale Lyon
"composition parois porteuses intérieures"

Parois porteuses mitoyennes

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A11

Echelle: 1:5

A12 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass (Solution 1)

Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max (°C)
RDC - LGT 1	3146	27	6797	16	20,6	30,62
ESCALIER	0	0	0	12,12	18,33	27,63
RDC - STUDIO	624	20	1867	16,17	21,21	30,39
RDC - LGT 2	3212	28	6928	16	20,56	30,29
R+1 - LGT 1	1132	10	2678	17,71	21,2	29,58
R+1 - STUDIO	144	5	585	18,07	22,06	29,92
R+1 - LGT 2	1154	10	2683	17,69	21,14	29,51
R+2 - LGT 1	1084	9	2634	17,73	21,41	29,83
R+2 - STUDIO	141	4	574	18,09	22,24	30,07
R+2 - LGT 2	1105	10	2640	17,7	21,34	29,74
R+3 - LGT 1	1637	14	3744	17,24	21,76	30,97
R+3 - STUDIO	318	10	972	17,54	22,13	30,6
R+3 - LGT 2	1657	14	3732	17,2	21,7	30,9
Total	15355	15	35834	16,68	21	29,93

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface (m ²)	Volume (m ³)
RDC - LGT 1	2374	126	1,85	115	287
ESCALIER	889	0	0	119	298
RDC - STUDIO	1066	211	3,09	32	80
RDC - LGT 2	2321	109	1,6	116	290
R+1 - LGT 1	2376	205	3	115	287
R+1 - STUDIO	1066	418	6,13	32	80
R+1 - LGT 2	2322	170	2,5	116	290
R+2 - LGT 1	2379	266	3,89	115	287
R+2 - STUDIO	1066	518	7,59	32	80
R+2 - LGT 2	2325	231	3,38	116	290
R+3 - LGT 1	3353	537	7,87	115	286
R+3 - STUDIO	1066	612	8,98	32	81
R+3 - LGT 2	3301	482	7,08	116	289

A13 : Thermique CLT ventilation double-flux sans Bypass (Solution 2)

Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max(°C)
RDC - LGT 1	2991	26	6797	16	21,42	31,42
ESCALIER	0	0	0	12,12	19,52	29,06
RDC - STUDIO	605	19	1867	16,17	22,23	31,86
RDC - LGT 2	3043	26	6928	16	21,36	31,22
R+1 - LGT 1	1103	10	2678	17,71	22,5	31,63
R+1 - STUDIO	144	5	585	18,07	23,57	32,26
R+1 - LGT 2	1118	10	2683	17,69	22,4	31,59
R+2 - LGT 1	1064	9	2634	17,73	22,86	32,15
R+2 - STUDIO	141	4	574	18,09	23,88	32,89
R+2 - LGT 2	1080	9	2640	17,7	22,77	32,12
R+3 - LGT 1	1620	14	3744	17,24	23,15	33,27
R+3 - STUDIO	317	10	972	17,54	23,63	33,01
R+3 - LGT 2	1639	14	3732	17,2	23,07	33,25
Total	14865	14	35834	16,68	22,24	31,82

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface(m ²)	Volume(m3)
RDC - LGT 1	2374	564	8,27	115	287
ESCALIER	889	0	0	119	298
RDC - STUDIO	1066	1079	15,83	32	80
RDC - LGT 2	2321	491	7,2	116	290
R+1 - LGT 1	2376	1346	19,76	115	287
R+1 - STUDIO	1066	2102	30,85	32	80
R+1 - LGT 2	2322	1286	18,87	116	290
R+2 - LGT 1	2379	1795	26,35	115	287
R+2 - STUDIO	1066	2210	32,43	32	80
R+2 - LGT 2	2325	1705	25,03	116	290
R+3 - LGT 1	3353	1987	29,17	115	286
R+3 - STUDIO	1066	2158	31,67	32	81
R+3 - LGT 2	3301	1960	28,77	116	289

A14 : Thermique Béton ventilation double-flux avec Bypass (Solution 3)

Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max (°C)
RDC - LGT1	3306	29	6126	16,27	20,6	28,96
ESCALIER	0	0	0	16,51	20,26	27,75
RDC - STUDIO	750	23	1362	17,01	20,84	28,51
RDC - LGT2	3355	29	6151	16,27	20,57	28,59
R+1 - LGT1	1318	12	2761	17,86	21,1	28,31
R+1 - STUDIO	240	7	675	18,14	21,35	28,27
R+1 - LGT2	1336	12	2776	17,86	21,05	28,23
R+2 - LGT1	1300	11	2747	17,86	21,23	28,59
R+2 - STUDIO	240	7	674	18,14	21,46	28,49
R+2 - LGT2	1318	11	2762	17,87	21,18	28,5
R+3 - LGT1	3146	28	5700	16,78	21,45	30,31
R+3 - STUDIO	779	24	1401	17,27	21,5	29,78
R+3 - LGT2	3177	27	5172	16,81	21,41	30,17
Total	20266	19	38309	17,18	21,01	28,81

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface(m ²)	Volume(m3)
RDC - LGT1	2374	71	1,03	114	286
ESCALIER	889	0	0	120	299
RDC - STUDIO	1066	74	1,08	32	80
RDC - LGT2	2320	57	0,83	116	290
R+1 - LGT1	2376	128	1,87	114	286
R+1 - STUDIO	1066	142	2,07	32	80
R+1 - LGT2	2322	101	1,48	116	290
R+2 - LGT1	2379	183	2,69	114	286
R+2 - STUDIO	1066	206	3,02	32	80
R+2 - LGT2	2325	160	2,35	116	290
R+3 - LGT1	3352	450	6,61	114	286
R+3 - STUDIO	1066	434	6,37	32	81
R+3 - LGT2	3301	419	6,15	116	289

A15 : Thermique Béton ventilation double-flux sans Bypass (Solution 4)

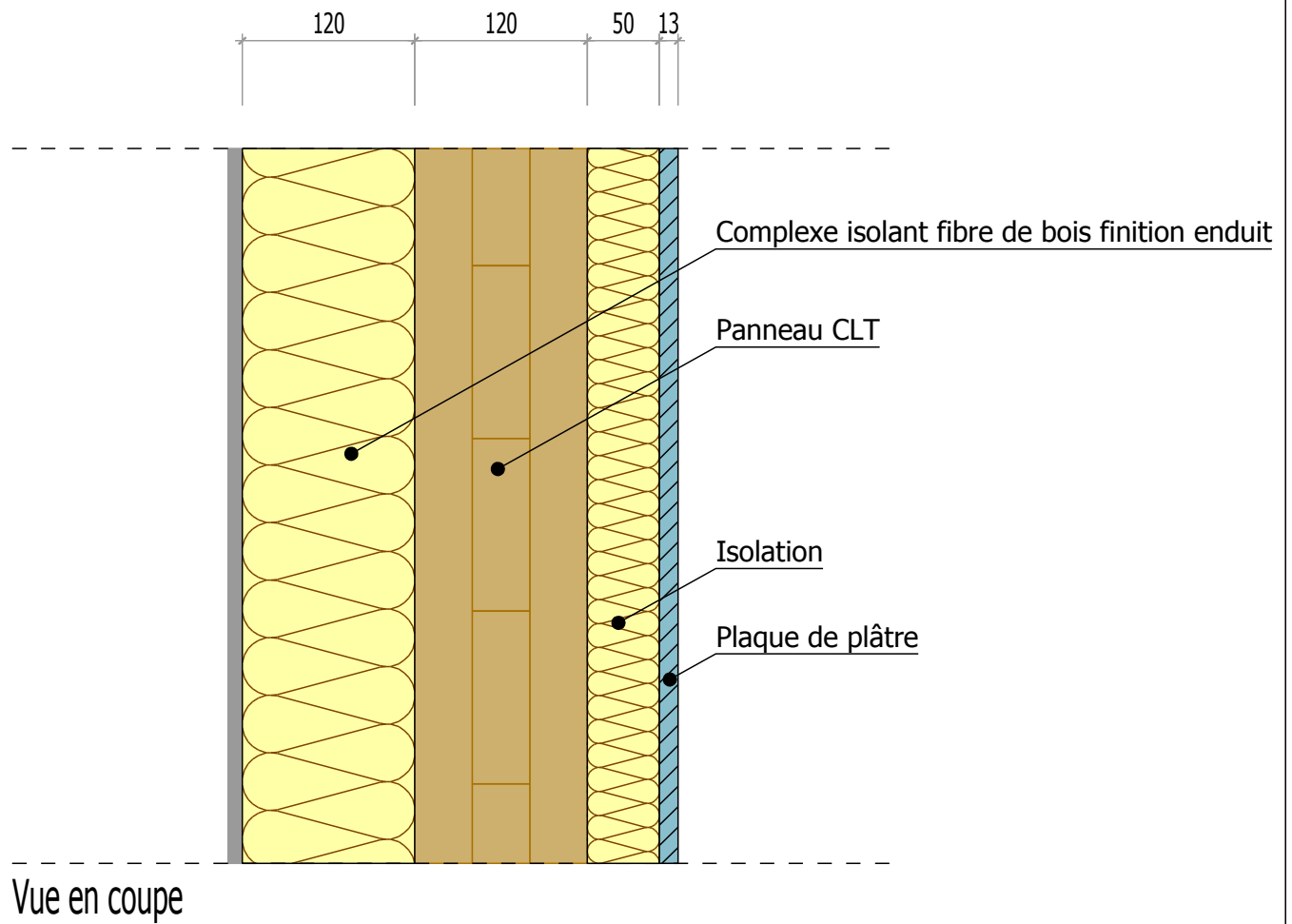
Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max(°C)
RDC - LGT1	3178	28	6126	16,27	21,45	29,97
ESCALIER	0	0	0	16,51	21,35	29,61
RDC - STUDIO	734	23	1362	17,01	21,76	29,9
RDC - LGT2	3217	28	6151	16,27	21,42	29,77
R+1 - LGT1	1299	11	2761	17,86	22,28	30,26
R+1 - STUDIO	239	7	675	18,14	22,56	30,32
R+1 - LGT2	1315	11	2776	17,86	22,23	30,09
R+2 - LGT1	1284	11	2747	17,86	22,46	30,65
R+2 - STUDIO	239	7	674	18,14	22,71	30,65
R+2 - LGT2	1300	11	2762	17,87	22,41	30,46
R+3 - LGT1	3117	27	5700	16,78	22,44	31,99
R+3 - STUDIO	775	24	1401	17,27	22,51	31,46
R+3 - LGT2	3147	27	5172	16,81	22,39	31,82
Total	19843	19	38309	17,18	22,08	30,51

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface(m ²)	Volume(m3)
RDC - LGT1	2374	547	8,02	114	286
ESCALIER	889	0	0	120	299
RDC - STUDIO	1066	740	10,85	32	80
RDC - LGT2	2320	495	7,27	116	290
R+1 - LGT1	2376	1198	17,59	114	286
R+1 - STUDIO	1066	1411	20,71	32	80
R+1 - LGT2	2322	1147	16,83	116	290
R+2 - LGT1	2379	1435	21,06	114	286
R+2 - STUDIO	1066	1650	24,21	32	80
R+2 - LGT2	2325	1385	20,32	116	290
R+3 - LGT1	3352	1453	21,32	114	286
R+3 - STUDIO	1066	1515	22,23	32	81
R+3 - LGT2	3301	1424	20,89	116	289

A16 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass + 50mm isolation**(Solution 5)**

Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max(°C)
RDC - LGT 1	3104	27	6993	16	20,6	30,3
ESCALIER	0	0	0	12,23	18,35	27,5
RDC - STUDIO	614	19	1840	16,3	21,21	30,21
RDC - LGT 2	3170	27	7100	16	20,56	30,03
R+1 - LGT 1	1093	10	2762	17,79	21,21	29,4
R+1 - STUDIO	138	4	584	18,13	22,07	29,79
R+1 - LGT 2	1115	10	2827	17,77	21,14	29,34
R+2 - LGT 1	1047	9	2718	17,81	21,42	29,65
R+2 - STUDIO	135	4	574	18,14	22,25	29,95
R+2 - LGT 2	1066	9	2781	17,79	21,35	29,58
R+3 - LGT 1	1600	14	3910	17,34	21,77	30,81
R+3 - STUDIO	311	10	988	17,6	22,14	30,48
R+3 - LGT 2	1621	14	4005	17,31	21,71	30,75
Total	15014	14	37084	16,75	21	29,74

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface(m ²)	Volume(m ³)
RDC - LGT 1	2374	120	1,76	115	287
ESCALIER	889	0	0	119	298
RDC - STUDIO	1066	201	2,95	32	80
RDC - LGT 2	2321	104	1,53	116	290
R+1 - LGT 1	2376	193	2,83	115	287
R+1 - STUDIO	1066	419	6,15	32	80
R+1 - LGT 2	2322	165	2,41	116	290
R+2 - LGT 1	2379	262	3,84	115	287
R+2 - STUDIO	1066	517	7,58	32	80
R+2 - LGT 2	2325	230	3,37	116	290
R+3 - LGT 1	3353	535	7,85	115	286
R+3 - STUDIO	1066	616	9,03	32	81
R+3 - LGT 2	3301	485	7,11	116	289



Parois extérieures + complément isolation
Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

N°: A17

Echelle: 1:5

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

A18 : Thermique CLT ventilation double-flux avec Bypass + occultation**(Solution 6)**

Zones	Besoins Ch. (kWh)	Besoins Ch. (kWh/m ²)	Puiss. Chauff. (W)	T° Min (°C)	T° Moyenne (°C)	T° Max(°C)
RDC - LGT 1	3049	27	6773	16	20,59	30,32
ESCALIER	0	0	0	12,28	18,34	27,38
RDC - STUDIO	602	19	1835	16,22	21,2	30,1
RDC - LGT 2	3127	27	6909	16	20,52	29,85
R+1 - LGT 1	1045	9	2601	17,75	21,2	29,27
R+1 - STUDIO	129	4	549	18,13	22,07	29,6
R+1 - LGT 2	1071	9	2611	17,72	21,09	29
R+2 - LGT 1	999	9	2557	17,77	21,41	29,53
R+2 - STUDIO	126	4	538	18,14	22,25	29,76
R+2 - LGT 2	1022	9	2567	17,74	21,29	29,24
R+3 - LGT 1	1552	14	3678	17,27	21,76	30,68
R+3 - STUDIO	298	9	945	17,58	22,13	30,31
R+3 - LGT 2	1574	14	3676	17,24	21,66	30,43
Total	14594	14	35239	16,72	20,98	29,56

Zones	Apports solaires bruts (kWh)	Heures > T°Inconf. (h)	Taux d'inconfort (%)	Surface(m ²)	Volume(m3)
RDC - LGT 1	2321	105	1,54	115	287
ESCALIER	855	0	0	119	298
RDC - STUDIO	1049	189	2,76	32	80
RDC - LGT 2	2216	92	1,35	116	290
R+1 - LGT 1	2322	171	2,5	115	287
R+1 - STUDIO	1049	389	5,7	32	80
R+1 - LGT 2	2218	126	1,85	116	290
R+2 - LGT 1	2326	241	3,54	115	287
R+2 - STUDIO	1049	484	7,1	32	80
R+2 - LGT 2	2221	180	2,63	116	290
R+3 - LGT 1	3286	503	7,38	115	286
R+3 - STUDIO	1049	587	8,61	32	81
R+3 - LGT 2	3183	435	6,38	116	289

A19 : Thermique – Scénarios d'occupation

<input checked="" type="radio"/> Nombre d'occupants <input type="text" value="1.000"/> Occupants <input type="radio"/> Nombre d'occupants <input type="text" value=""/> Occup./m ²								
%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
0H	100	100	100	100	100	100	100	
1H	100	100	100	100	100	100	100	
2H	100	100	100	100	100	100	100	
3H	100	100	100	100	100	100	100	
4H	100	100	100	100	100	100	100	
5H	100	100	100	100	100	100	100	
6H	100	100	100	100	100	100	100	
7H	100	100	100	100	100	100	100	
8H	100	100	100	100	100	100	100	
9H	100	100	100	100	100	100	100	
10H	0	0	0	0	0	100	100	
11H	0	0	0	0	0	100	100	
12H	0	0	0	0	0	100	100	
13H	0	0	0	0	0	100	100	
14H	0	0	0	0	0	100	100	
15H	0	0	100	0	0	100	100	
16H	0	0	100	0	0	100	100	
17H	0	0	100	0	0	100	100	
18H	100	100	100	100	100	100	100	
19H	100	100	100	100	100	100	100	
20H	100	100	100	100	100	100	100	
21H	100	100	100	100	100	100	100	
22H	100	100	100	100	100	100	100	
23H	100	100	100	100	100	100	100	
24H	100	100	100	100	100	100	100	

Tableau 1: scénario d'occupation pour les studios

<input checked="" type="radio"/> Nombre d'occupants <input type="text" value="3.000"/> Occupants <input type="radio"/> Nombre d'occupants <input type="text" value=""/> Occup./m ²								
%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche	
0H	100	100	100	100	100	100	100	
1H	100	100	100	100	100	100	100	
2H	100	100	100	100	100	100	100	
3H	100	100	100	100	100	100	100	
4H	100	100	100	100	100	100	100	
5H	100	100	100	100	100	100	100	
6H	100	100	100	100	100	100	100	
7H	100	100	100	100	100	100	100	
8H	100	100	100	100	100	100	100	
9H	100	100	100	100	100	100	100	
10H	0	0	0	0	0	100	100	
11H	0	0	0	0	0	100	100	
12H	0	0	0	0	0	100	100	
13H	0	0	0	0	0	100	100	
14H	0	0	0	0	0	100	100	
15H	0	0	100	0	0	100	100	
16H	0	0	100	0	0	100	100	
17H	0	0	100	0	0	100	100	
18H	100	100	100	100	100	100	100	
19H	100	100	100	100	100	100	100	
20H	100	100	100	100	100	100	100	
21H	100	100	100	100	100	100	100	
22H	100	100	100	100	100	100	100	
23H	100	100	100	100	100	100	100	
24H	100	100	100	100	100	100	100	

Tableau 2: scénario d'occupation pour les logements

A20 : Thermique – Scénarios de chauffage

°C	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0H	19	19	19	19	19	19	19
1H	19	19	19	19	19	19	19
2H	19	19	19	19	19	19	19
3H	19	19	19	19	19	19	19
4H	19	19	19	19	19	19	19
5H	19	19	19	19	19	19	19
6H	19	19	19	19	19	19	19
7H	19	19	19	19	19	19	19
8H	19	19	19	19	19	19	19
9H	19	19	19	19	19	19	19
10H	16	16	16	16	16	19	19
11H	16	16	16	16	16	19	19
12H	16	16	16	16	16	19	19
13H	16	16	16	16	16	19	19
14H	16	16	19	16	16	19	19
15H	16	16	19	16	16	19	19
16H	16	16	19	16	16	19	19
17H	16	16	19	16	16	19	19
18H	19	19	19	19	19	19	19
19H	19	19	19	19	19	19	19
20H	19	19	19	19	19	19	19
21H	19	19	19	19	19	19	19
22H	19	19	19	19	19	19	19
23H	19	19	19	19	19	19	19
24H	19	19	19	19	19	19	19

A21 : Thermique – Scénario de ventilation

Débit nominal Vol/h
 Débit nominal m³/h

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	100	100	100	100	100	100	100
9 H	100	100	100	100	100	100	100
10 H	100	100	100	100	100	100	100
11 H	100	100	100	100	100	100	100
12 H	100	100	100	100	100	100	100
13 H	100	100	100	100	100	100	100
14 H	100	100	100	100	100	100	100
15 H	100	100	100	100	100	100	100
16 H	100	100	100	100	100	100	100
17 H	100	100	100	100	100	100	100
18 H	100	100	100	100	100	100	100
19 H	100	100	100	100	100	100	100
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

Efficacité de l'échangeur (double flux)

Bypass échangeur
 Première semaine Dernière semaine

Infiltration v/h

A22 : Thermique – Scénario d’occultation

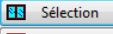
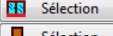
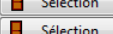
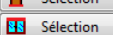


Resistance thermique additionnelle m².K/W

Appliquer également à la partie opaque de la paroi

%	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
0 H	100	100	100	100	100	100	100
1 H	100	100	100	100	100	100	100
2 H	100	100	100	100	100	100	100
3 H	100	100	100	100	100	100	100
4 H	100	100	100	100	100	100	100
5 H	100	100	100	100	100	100	100
6 H	100	100	100	100	100	100	100
7 H	100	100	100	100	100	100	100
8 H	0	0	0	0	0	0	0
9 H	0	0	0	0	0	0	0
10 H	0	0	0	0	0	0	0
11 H	0	0	0	0	0	0	0
12 H	0	0	0	0	0	0	0
13 H	0	0	0	0	0	0	0
14 H	0	0	0	0	0	0	0
15 H	0	0	0	0	0	0	0
16 H	0	0	0	0	0	0	0
17 H	0	0	0	0	0	0	0
18 H	0	0	0	0	0	0	0
19 H	0	0	0	0	0	0	0
20 H	100	100	100	100	100	100	100
21 H	100	100	100	100	100	100	100
22 H	100	100	100	100	100	100	100
23 H	100	100	100	100	100	100	100
24 H	100	100	100	100	100	100	100

A23 : Thermique – Ponts thermiques

Composition par défaut des portes et des fenêtres

Fenêtres	DV C.solaire - Uf = 1.5 - Fenêtre 1	 Sélection	Hauteur de fenêtre par défaut	1.45 m	Largeur de fenêtre par défaut	0.90 m
Appui	ITE 5.1.1-Appui au droit ext. et Ψ 0.37	 Sélection	Allège	0.9 m	Retrait	0.2 m
Portes	Porte simple en bois pleine	 Sélection	Hauteur de porte par défaut	2.04 m	Largeur de porte par défaut	0.83 m
Seuil de porte	ITE 5.1.1-Appui au droit ext. et Ψ 0.37	 Sélection				
Linteau	ITE 5.2.1-Menuiserie au droit ext. Ψ 0.04	 Sélection	Tableau	ITE 5.3.1-Menuiserie au droit ext. Ψ 0.04	 Sélection	

Caractéristiques pour les menuiseries

A24 : métré

Lot	Matériaux	Produit	Fournisseur	Prix	Quantité projet	Unité	Coût projet	Commentaire
Structure	CLT parois			650€/m3	363	m3	235 950,00 €	prix à titre indicatif
Structure	Isolation phonique sous chape	Silent floor	Rothoblass	N.C.	1200	m2		6mm
Structure	Equerres			N.C.	210	pièces		Equerre acoustique bois/bois)
Structure	Equerres			N.C.	52	pièces		Equerre (bois/béton) - reprise du vent
Structure	Vis 8*120			N.C.	4500	pièces		pour équerre
Structure	Vis 6*120			N.C.	2600	pièces		fixation entre panneaux
Structure	Vis 8*220			N.C.	2000	pièces		fixation plancher mur
Structure	Vis 8*100			N.C.	300	pièces		pour acrotère
Structure	Vis 8*340			N.C.	100	pièces		sommier
Structure	Vis 8*200			N.C.	1000	pièces		mur de refend/mur extérieur
Structure	Cheville à expenser M12-140			N.C.	100	pièces		fixation lisse de pose
Structure	Compribande	ABSORBER STRIPE	Rothoblass	N.C.	300	ml		largeur 100mm - acoustique -
Structure	ITE	Pro-dry	Steico	40,80€/m ²	755	m ²	30 804,00 €	
Structure	Fixation ITE	Cheville à rosace H	Steico	70€/100pièces	6040	pièces	4 228,00 €	8cheville/m ² d'ITE, bouchon thermique
Structure	Structure balcon (bois)			N.C.	10	m3		
Structure	Lame balcon			N.C.	96	m ²		

A24 : métré

Structure	Acrotère (panneau)	Kronoply	Krono	9,90€/m ²	151	m2	1 491,93 €	
Structure	Acrotère (ossature)							
SOUS TOTAL LOT STRUCTURE							270 982,00 €	
Plaquiste	Isolation acoustique	Alpharock 40	Rockwool	9,32€/m ²				
Plaquiste	Plaque de plâtre	BA13	Placo	35€/m ²				pose: entre 25 et 45€/m ²
Plaquiste	Rail métallique pour cloison		Placo	N.C.				
Plaquiste	Suspente pour plafond		Placo	N.C.				
Plaquiste	Tasseau pour suspente			N.C.				
SOUS TOTAL LOT PLAQUISTE								
Couverture	Isolation toiture	Roof/Therm	Steico	25,20€/m ²	120	m ²	3 024,00 €	120mm
Couverture	Etanchéité			N.C.	120	m ²		
Couverture	Gravier			N.C.	60	m3		
Couverture	Couvertine			N.C.	100	ml		
SOUS TOTAL LOT COUVERTURE								

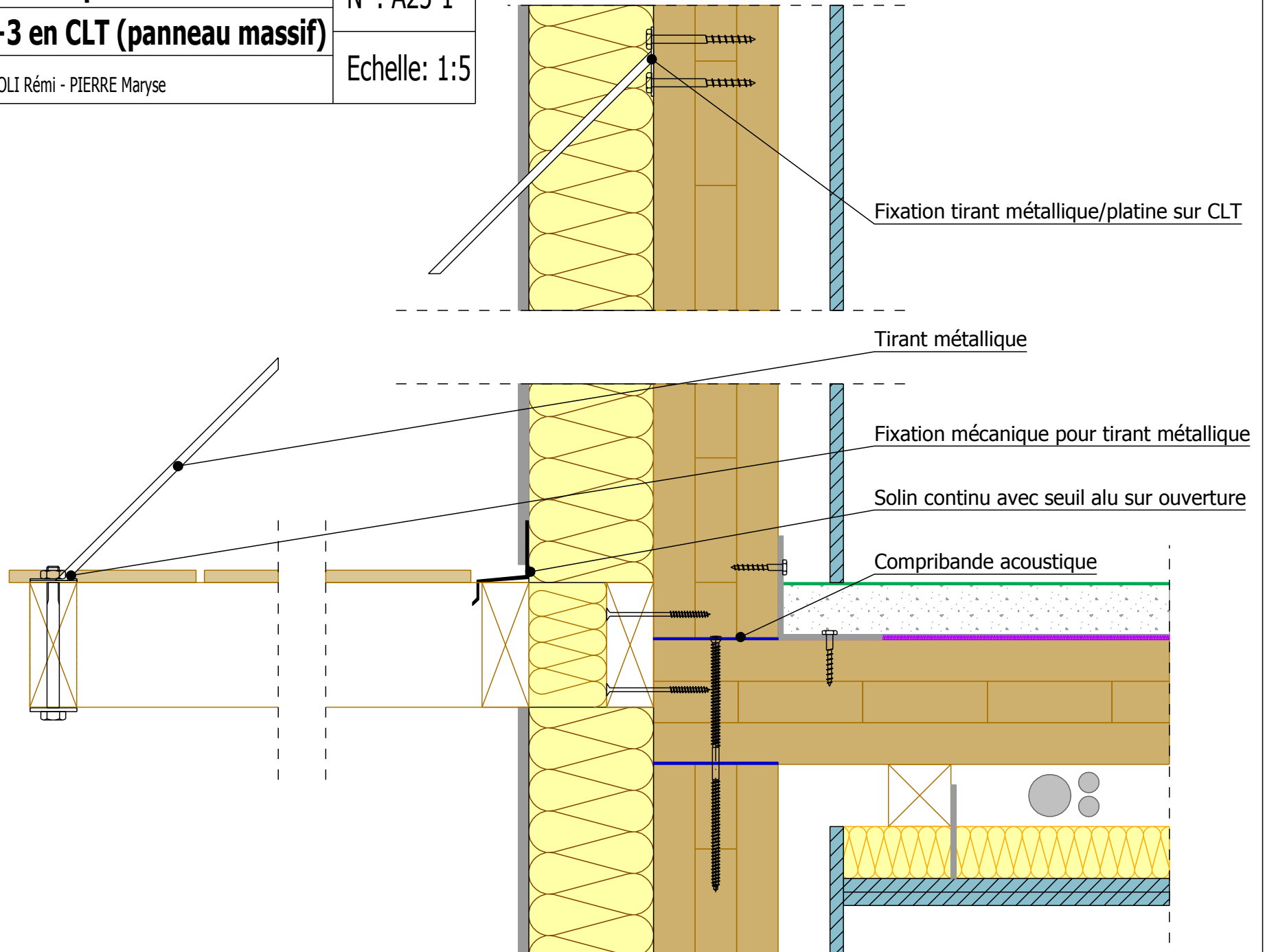
Balcons sur partie courante

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A25-1

Echelle: 1:5



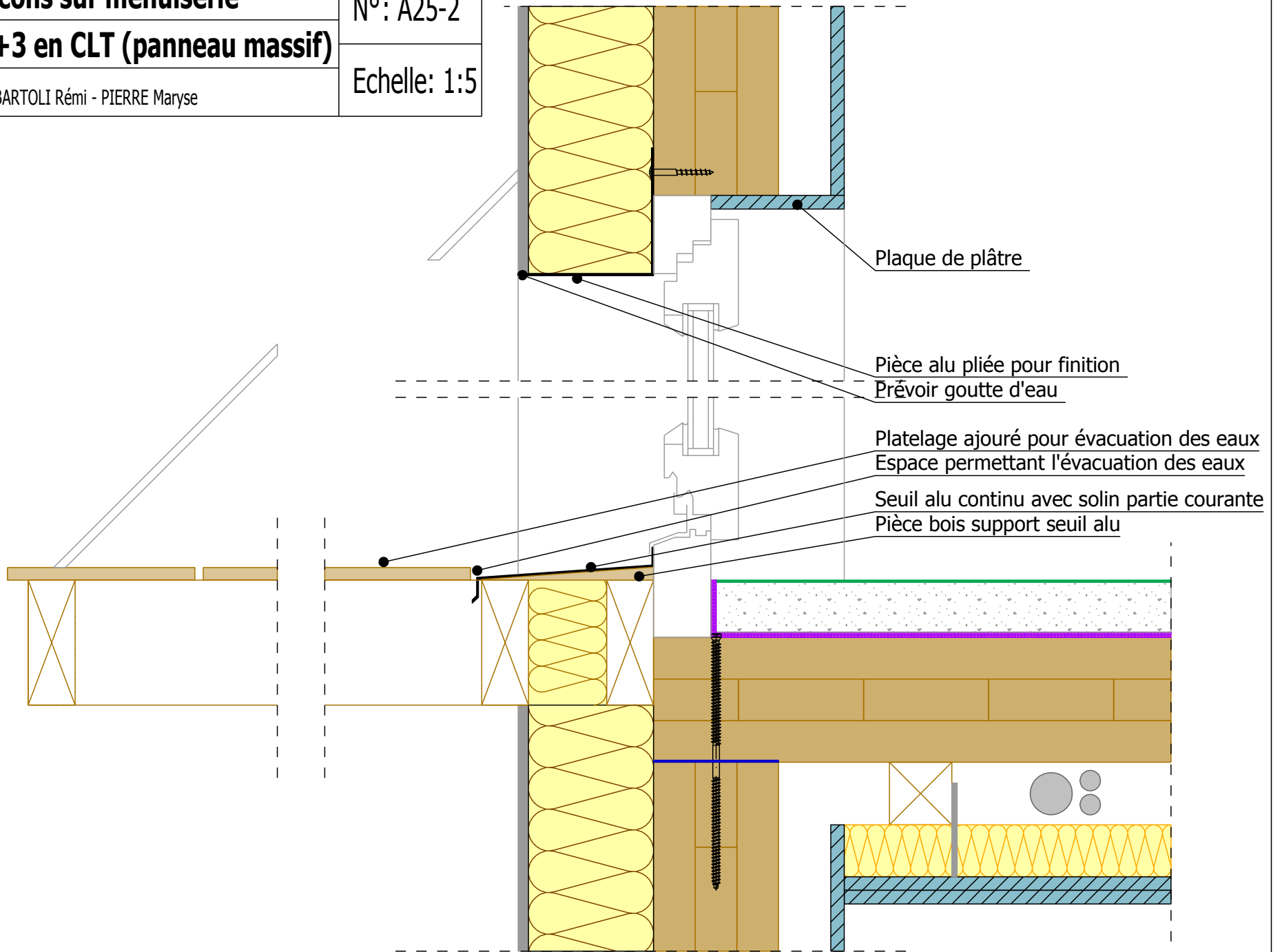
Balcons sur menuiserie

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A25-2

Echelle: 1:5



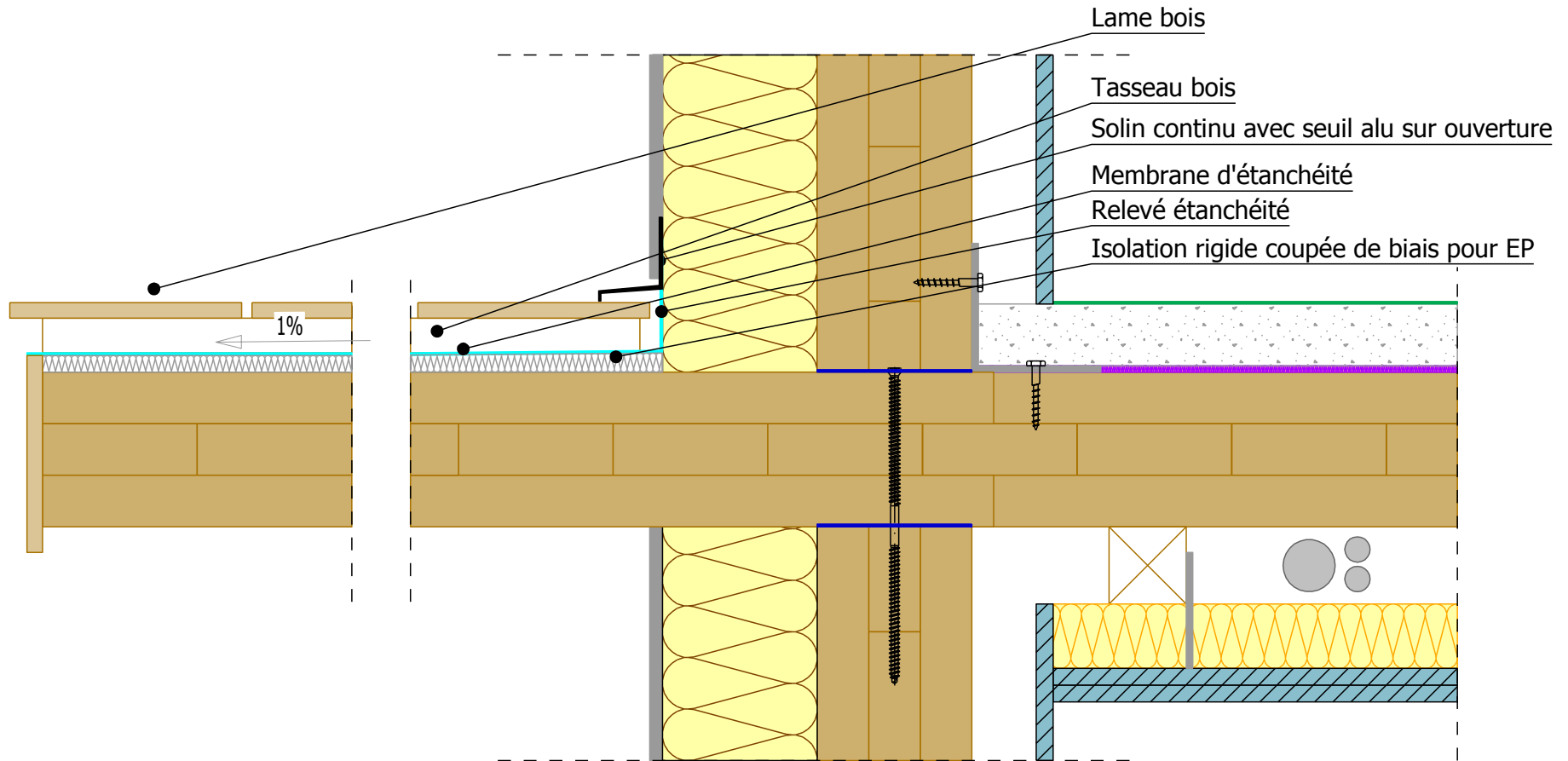
Balcons sur partie courante

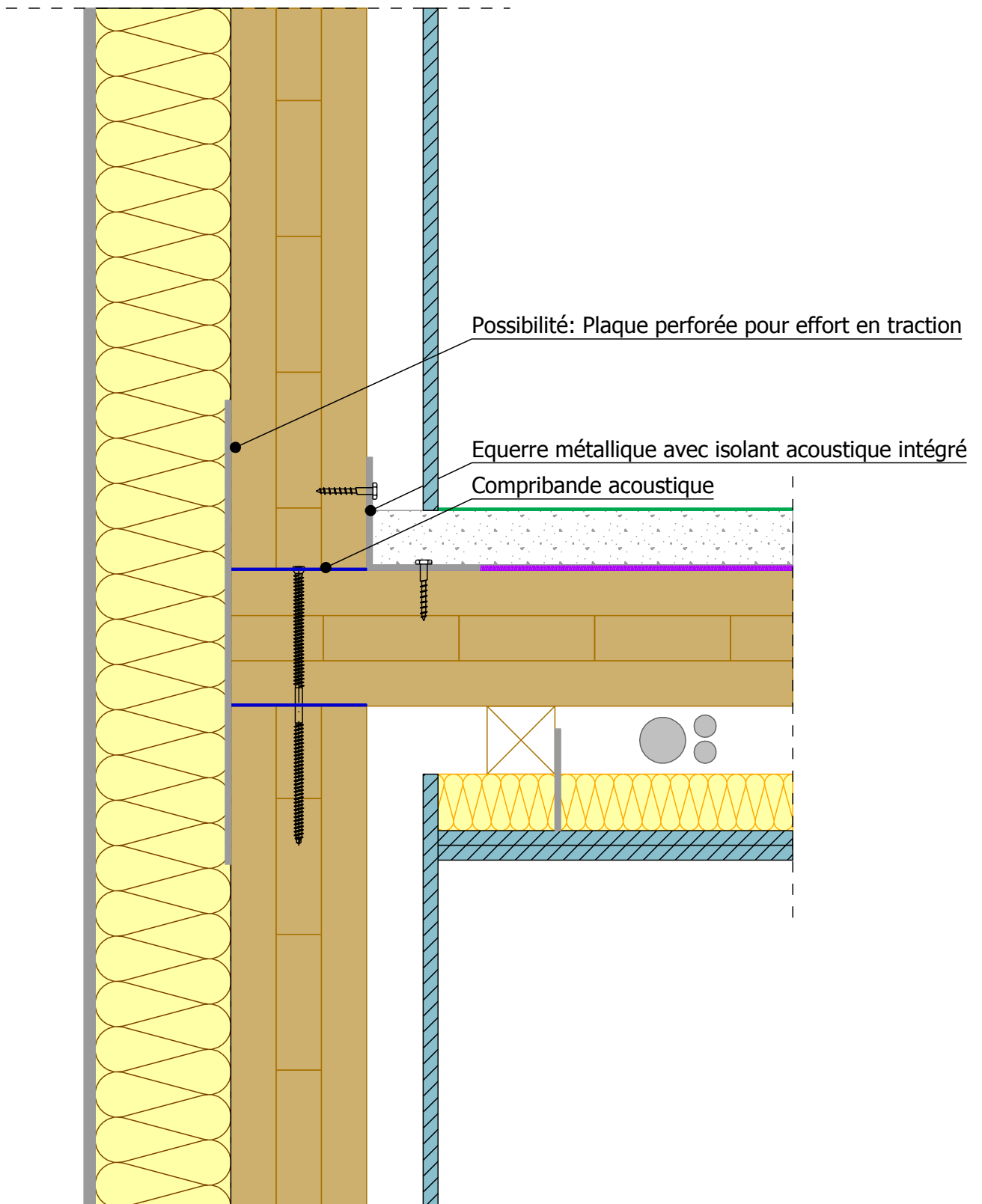
N°: A26

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

Echelle: 1:5





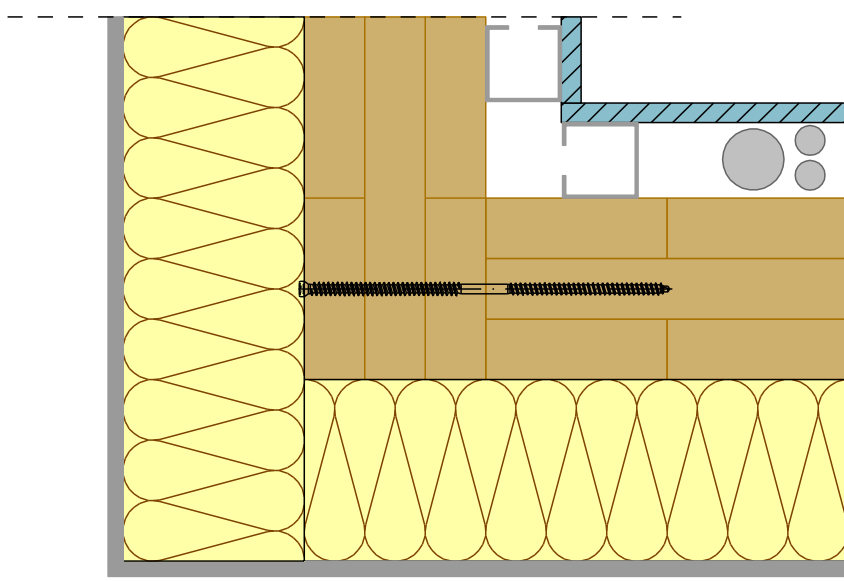
Liaison mur/plancher

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

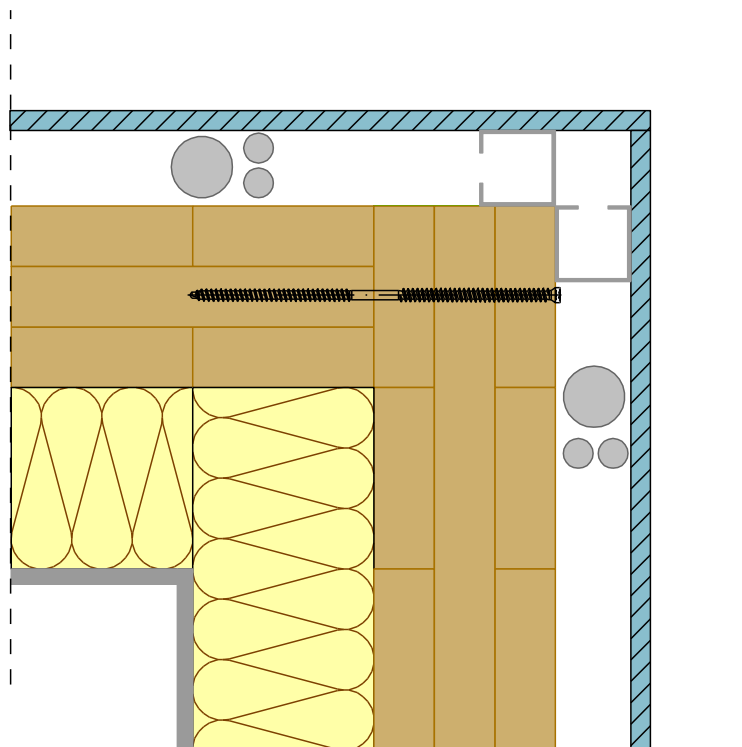
BARTOLLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A27

Echelle: 1:5



ANGLE SORTANT



ANGLE ENTRANT

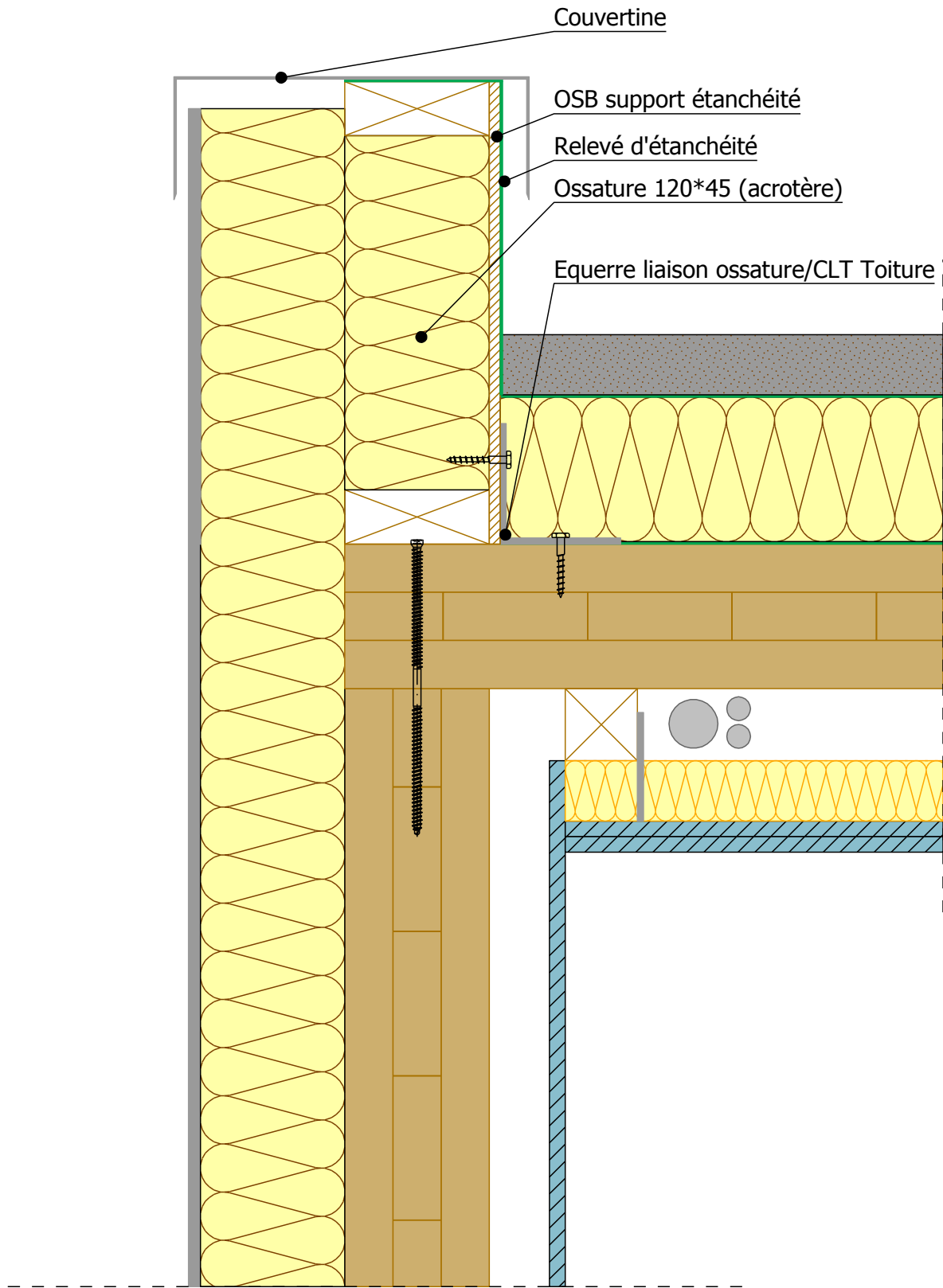
Angles

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A28

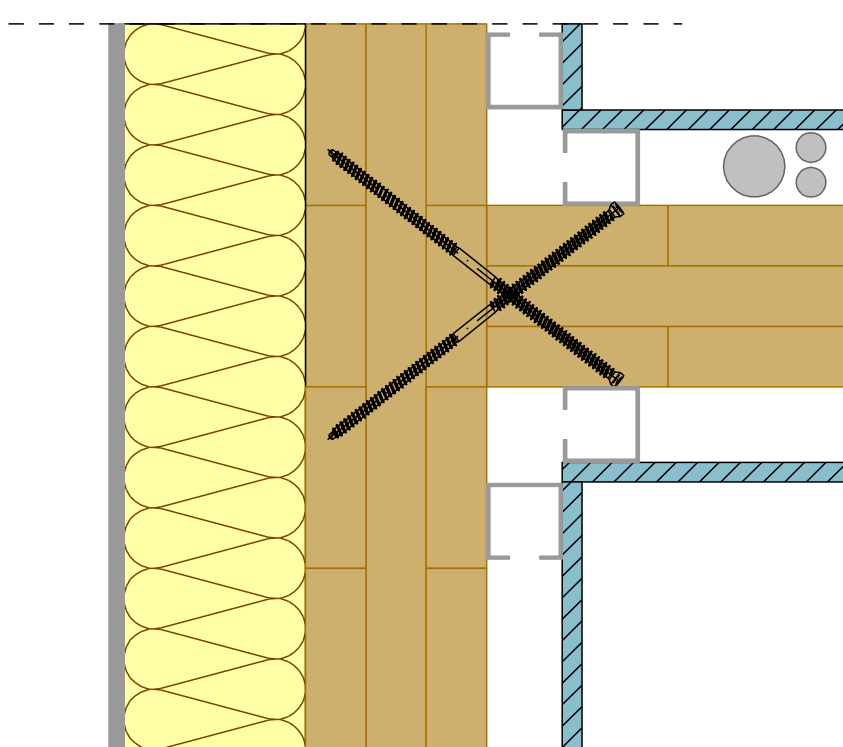
Echelle: 1:5



Acrotère - liaison mur/toiture
Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

N°: A29

Echelle: 1:5



VUE DE DESSUS

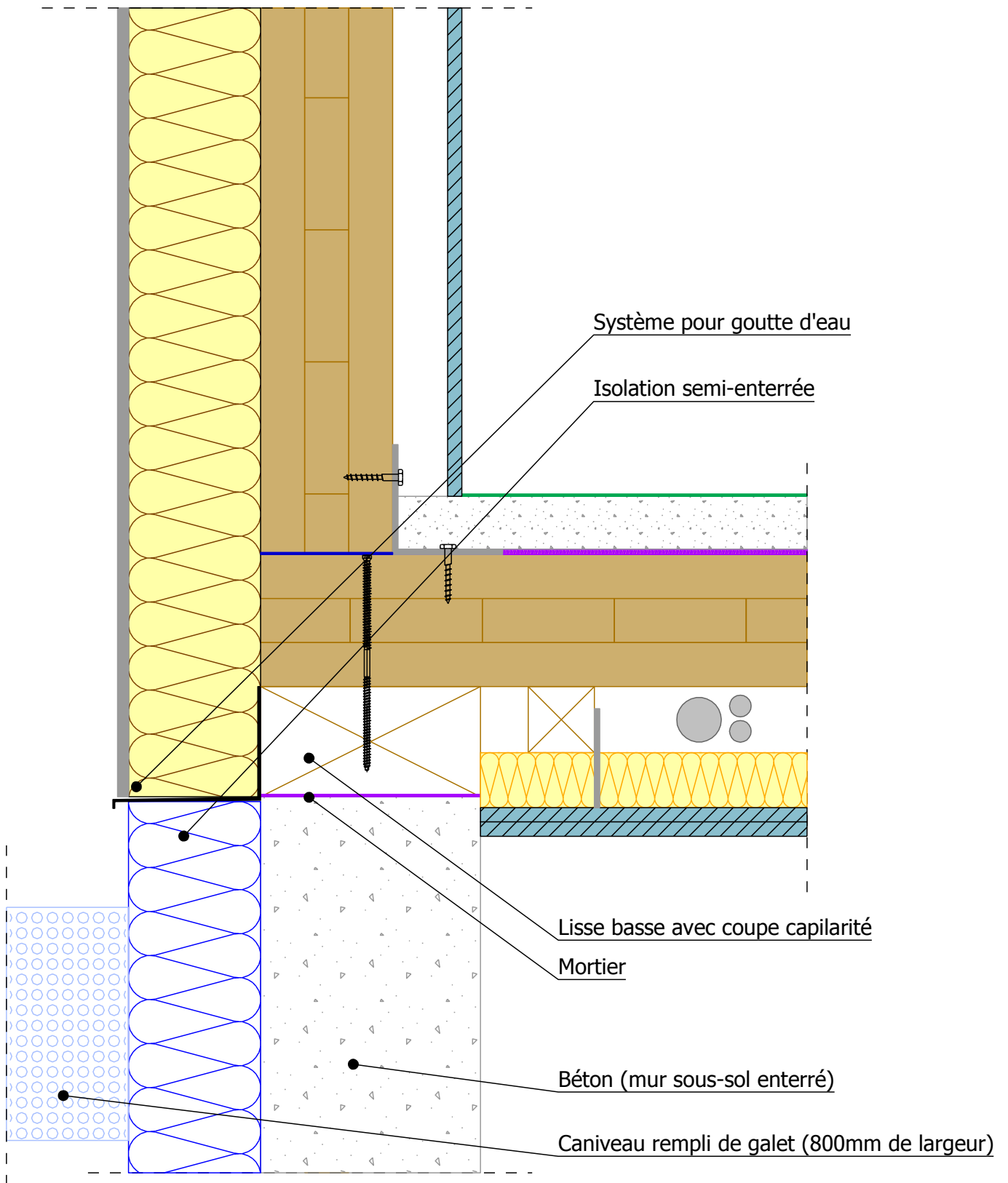
Liaison mur extérieur/refend

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A30

Echelle: 1:5



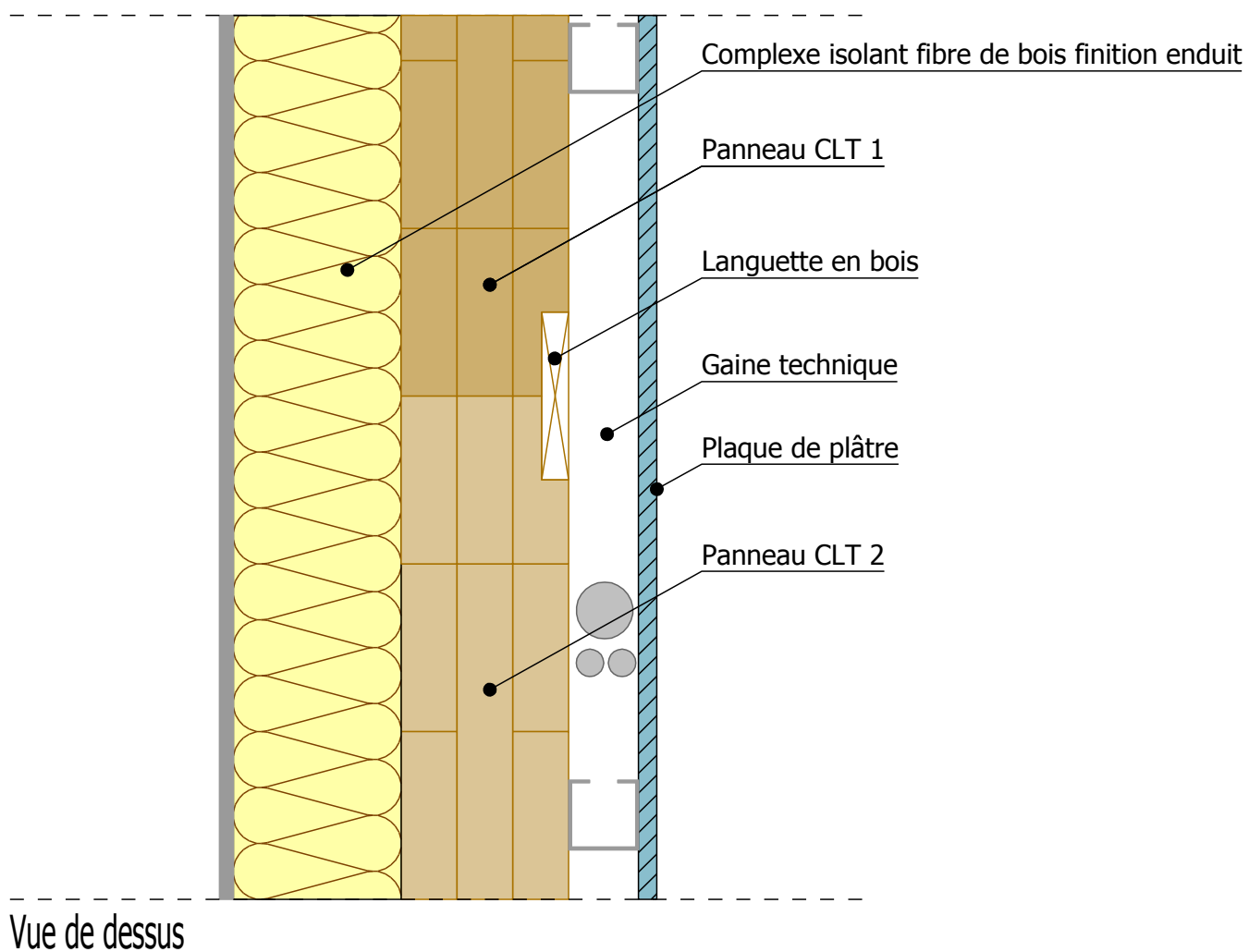
Liaison bas de murs

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A31

Echelle: 1:5



Liaison long pan extérieur

Collectif R+3 en CLT (panneau massif)

BARTOLI Rémi - PIERRE Maryse

N°: A32

Echelle: 1:5

A33 : Etude neige

Dans cette annexe nous allons voir brièvement les hypothèses de calcul des charges de neige ainsi que les résultats obtenus.

Localisation : La Rochelle (17)

Zone de neige : A2 soit $S_{k200}=0,45 \text{ kN/m}^2$

Altitude <200m soit $S_k = S_{k200}=0,45 \text{ kN/m}^2$

En prenant en compte les coefficients de majoration pour la faible pente et celui des saillies et obstacles (présence d'un acrotère), nous obtenons les résultats suivants :

Résultats Neige		
$S_{k 200}$	0,45	kN/m^2
S_k	0,45	kN/m^2
S_{Ad}	1,00	kN/m^2
D	0,12	m
S_n	0,56	kN/m^2
S_x (cas B1)	1	kN/m^2
S_x (cas B3)	1,80	kN/m^2

S_{k200} : Charge de neige à une altitude de 200m

S_k : Charge de neige à l'altitude réelle de notre construction

S_{Ad} : Charge de neige exceptionnelle

d : Hauteur de la neige (=hauteur du toit)

S_n : Charge de neige en cas normal

S_x cas B1: Cas le plus courant de charge de neige exceptionnelle en prenant en compte les coefficients cités ci-dessus.

S_x cas B3: Cas le moins courant de charge de neige exceptionnelle en prenant en compte les coefficients cités ci-dessus ; non stipulé dans le cahier des charges.

A34 : Etude vent

- Calcul de la pression dynamique de pointe Q_p :

Selon le rapport des étudiants de Centrale Lyon, ils ont calculé les efforts de vent avec une vitesse moyenne de 7,3 m/s. Nous avons donc essayé de partir sur des hypothèses de calcul qui se rapproche de ce qu'ils ont fait pour ne pas favoriser/défavoriser notre bâtiment comparé à la solution en béton.

Notre logement collectif se trouvant en zone 3, nous avons donc choisi de le mettre dans une catégorie de terrain IV représentant une zone urbaine. Nous obtenons une vitesse moyenne de vent de 10,6 m/s.

La valeur de la pression provoquée par le vent à l'altitude z_e sur notre bâtiment est calculée selon la formule suivante :

$$W_{(z_e)} = Q_{p(z_e)} * (C_{pe} - C_{pi})$$

Voici les détails des coefficients obtenus après notre calcul :

Choix de la zone 3 :

$$V_{b,0} = 26 \text{ m/s}, c_{dir} = 1 \text{ et } c_{season} = 1$$

Catégorie de terrain III a :

$$z_{\min} = 15 \text{ m et } z_0 = 1 \text{ m}$$

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

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 $z < z_{\min}$

$$\Rightarrow z = z_{\min} = 5 \text{ m}$$

Coefficient de terrain k_r :

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \times \left(\frac{15}{1}\right)^{0,07} = 0.230$$

$$\Rightarrow c_r = 0,230 \times \ln\left(\frac{15}{1}\right) = 0.62$$

A34 : Etude vent

Coefficient d'orographie $c_0(z)$:

Zone normale $\Rightarrow c_0(z) = 1$

$$\Rightarrow V_m(z) = 0.62 \times 1 \times 26 = 16,5 \text{ m/s}$$

Intensité de turbulence $I_v(z)$:

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

Coefficient de turbulence en site orographique marqué :

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

$$\Rightarrow I_v(z) = \frac{0.854}{1 \times \ln\left(\frac{15}{1}\right)} = 0.854$$

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

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

$$q_p(z_e) = [1 + 7 \times 0.854] \frac{1}{2} \times 1,225 \times 16.5^2$$

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

K_r : Coefficient de terrain

$C_{r(z)}$: Coefficient de rugosité

$C_{0(z)}$: Coefficient orographique

$V_{m(z)}$: Vitesse moyenne du vent (m/s)

K_i : Facteur de turbulence

$I_{v(z)}$: Intensité de turbulence

$Q_{p(z)}$: Pression dynamique de pointe (Pa)

A34 : Etude vent

- Récapitulatifs des Cpe

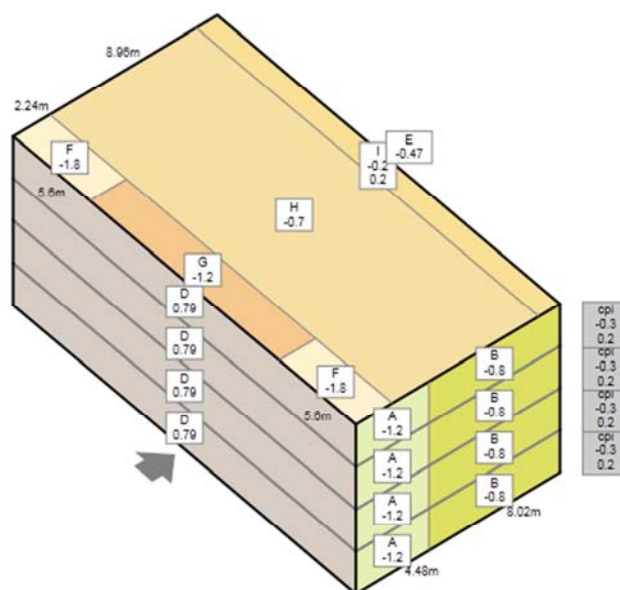


Figure 1: Cpe pour un cas de vent en long pan

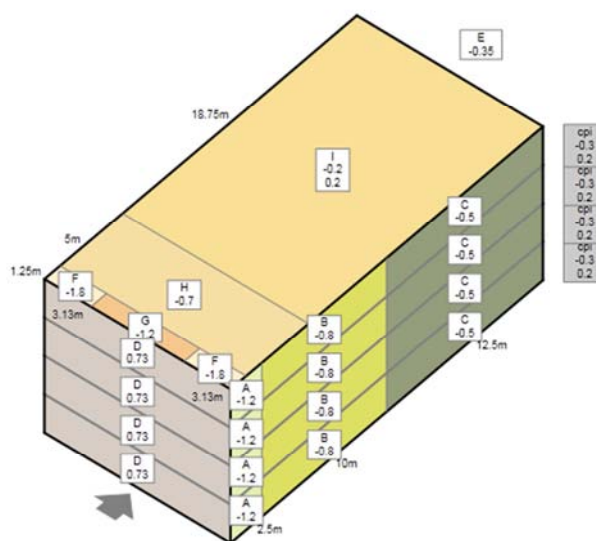


Figure 2: Cpe pour un cas de vent en pignon

Les forces de vent les plus défavorables pour la structure sont :

$$W(ze) = Qp(ze) * (Cpe - Cpi)$$

Pour la toiture :

$$Ws = 535 * (-1.8 - 0.2) = -1070 Pa$$

$$Wp = 535 * (-1.2 - 0.2) = 749 Pa$$

A34 : Etude vent

- Redistribution des charges de vents :

Lorsque le bâtiment doit reprendre des efforts de vents les murs verticaux jouent le rôle de contreventement. Une force de vent ainsi que sa position est calculée, et selon sa position, le bâtiment peut être soumis à un moment de torsion. En effet, lorsque qu'une excentricité existe entre la direction de la résultante de vent et le centre de raideur du bâtiment, un moment de torsion est crée. Ce moment de torsion sera transmis par le plancher agissant comme un diaphragme horizontal repris par les murs verticaux servant de contreventement au prorata de leur raideur ainsi que leur distance par rapport au centre de raideur du bâtiment.

Pour faire ce calcul, nous avons besoin de connaître la raideur de chaque mur de contreventant ; la raideur est fonction de leurs assemblages en tête et en pied, ainsi que de leur dimension.

Nous avons deux types de matériaux concernant les murs : le PMC et le béton. Selon une étude du Dr Christophe Sigrist de la haute Ecole spécialisée Bernoise- Architecture Bois et génie civil, une paroi de béton armé est environ 6 fois plus rigide dans son plan qu'une paroi en PMC. Pour le calcul du centre de raideur, nous avons utilisé un rapport de 3.5, qui prend en compte la raideur de l'assemblage entre le diaphragme horizontal et le mur en béton.

Pour le calcul du centre de raideur, nous avons opéré comme un calcul d'un barycentre pondéré par la raideur de chaque mur vertical faisant office de contreventement, et avons appliqués le coefficient 3.5 aux trois murs en béton.

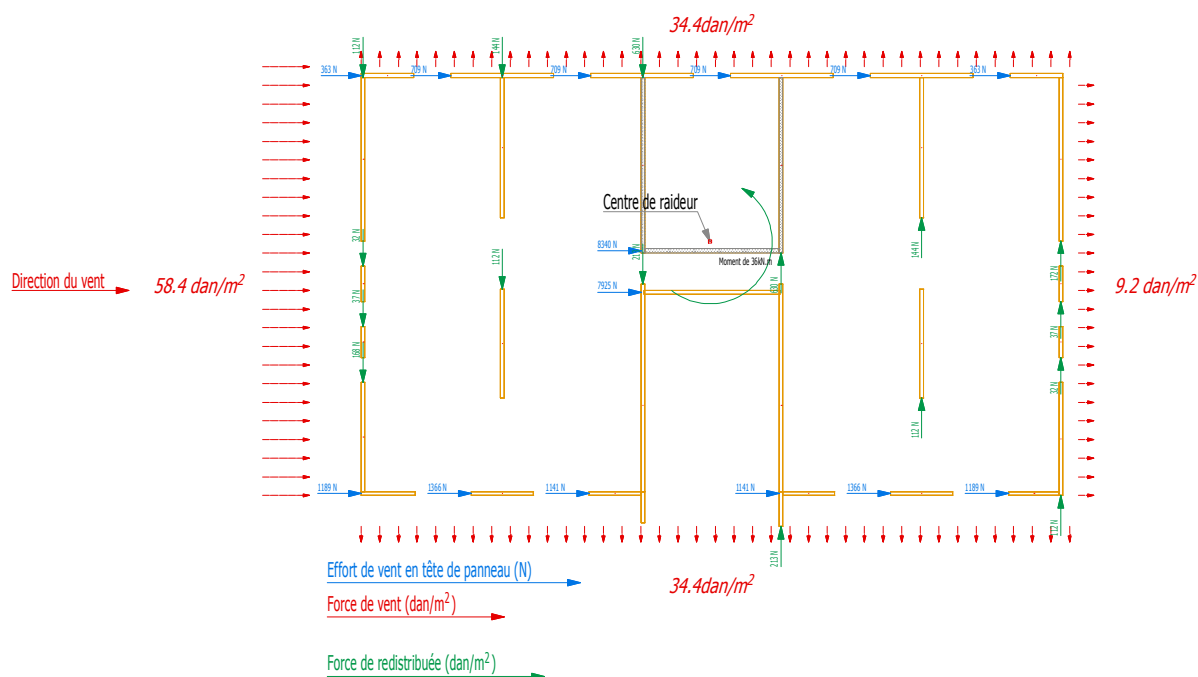


Figure 3: vue en plan avec vent en long pan

A34 : Etude vent

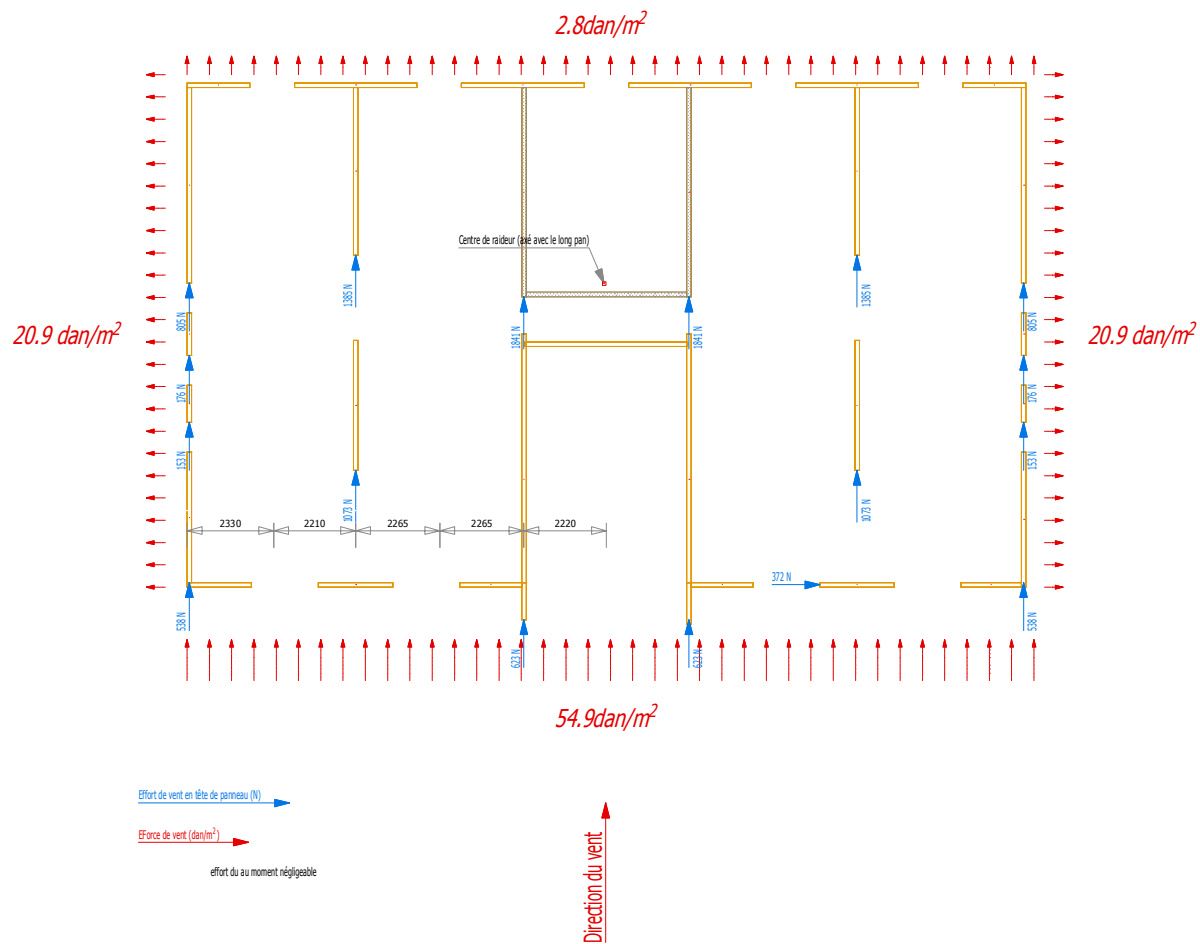


Figure 4:vue en plan vent en pignon

A35 : Poids propres

Pour calculer le poids propre des différents éléments de notre construction, n'ayant pas de produits imposés, nous avons pris le parti de choisir un produit ou une famille de produit à titre indicatif.

- Structure porteuse :

CLT : 420 kg/m³

- Revêtement de sol :

carrelage (ou parquet) : maximum 20 kg/m²

- Chape :

Béton : 13 kN/m³

- Isolation phonique :

maximum 4,4 kg/m²

- Lambourde :

C18 : 350 kg/m³

- Isolations :

Laine de verre : 40kg/m³

ITE Mur : 180 kg/m³

- Plaque de plâtre :

BA13 : 11 kg/m² (+ rails : 2 kg/m²)

- Complexe d'étanchéité :

6,5 kg/m²

- Gravier :

800 N/m²

A36 : Calcul des panneaux en toiture

Le bâtiment étant symétrique, il n'y a que deux panneaux en toiture ayant des hypothèses de calculs différentes. Contrairement à ce que l'on fait avec un solivage traditionnel, il faut faire attention lors de la « sélection des panneaux les plus sollicités » car le module efficace (EI)_i peut changer considérablement en fonction de la portée du panneau. C'est pourquoi, tous les panneaux ont été calculés.

Voici les hypothèses et les résultats pour les deux panneaux les plus sollicités :

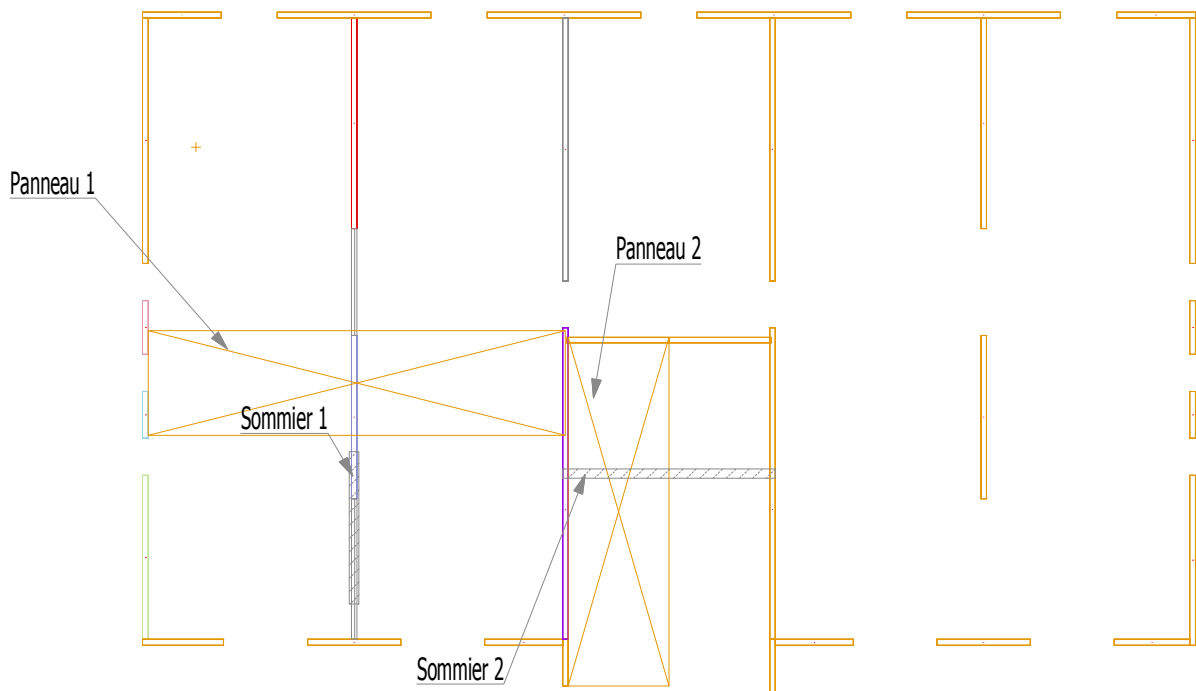


Figure 1: vue en plan avec localisation des éléments calculés

- Modélisation :

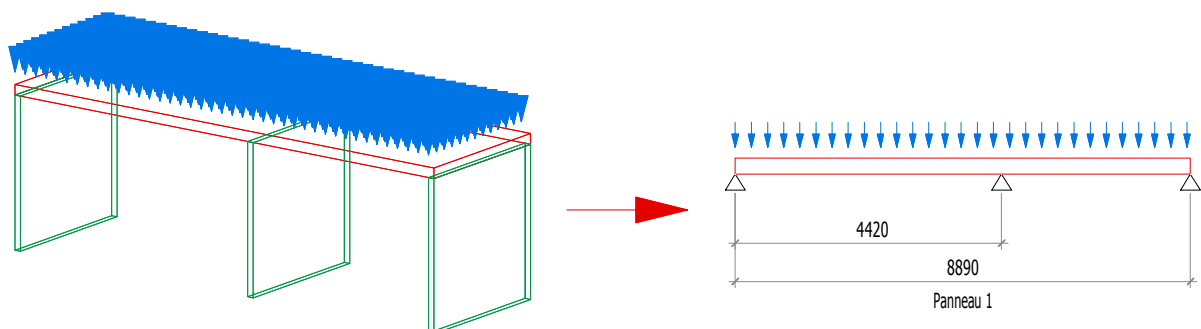


Figure 2: modélisation élément 1

A36 : Calcul des panneaux en toiture

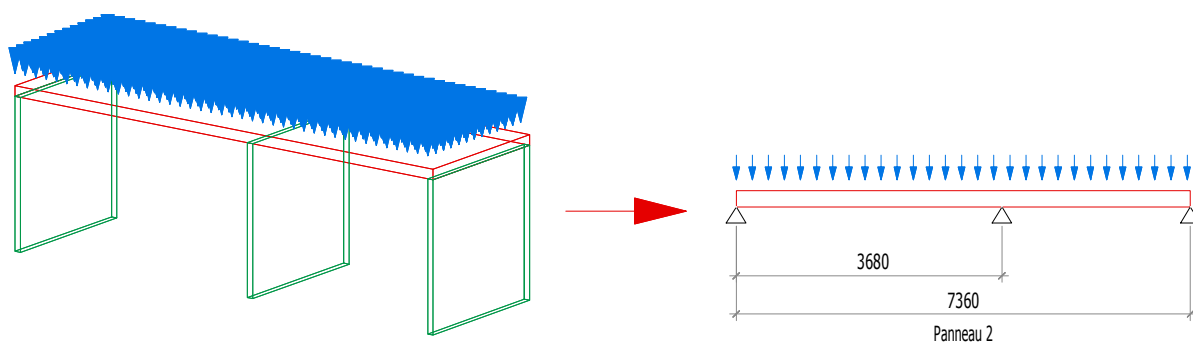


Figure 3: modélisation élément 2

- Critères à respecter :

Sur la totalité de nos panneaux horizontaux, nous avons une sous-face composée de plaque de plâtre. Nous devons donc respecter plusieurs critères de flèches afin de respecter les tolérances de ces plaques.

Voici les critères de flèches que nous devons respecter :

$$\delta 1: \begin{cases} W_{inst}(Q) \leq l/300 \\ W_{net, fin} \leq l/200 \\ W_{fin} \leq l/125 \end{cases} \quad \text{et} \quad \delta 2: \begin{cases} W_{net, fin} - W_{inst}(Gk, 1) \leq l/400 \\ \text{ou } \frac{l}{500} \text{ si } l < 5m \text{ et } 5mm + \frac{l}{1000} \text{ si } l \geq 5m \end{cases}$$

- Charges :

	Description	Nom	Total Poids kN/m ²
Structure	Gravier		0,8
	Complexe étanchéité		0,065
	Isolation rigide		0,25
	CLT		0,7644
	Lambourde		0,0168
	Isolation acoustique		0,02
Finition	BA13+ rails		0,13
	BA13		0,11
Résultats	Poids propre	gk	2,29
	Poids propre structure	gk1	2,05
	Poids propre finiton	gk2	0,24
Actions climatiques	Neige		0,56
	Vent en pression		0,26
	Vent en dépression		1,07
Charge d'exploitation	Catégorie H	qk: 0,8 kN/m ²	Qk: 1,5 kN

Tableau 1: récapitulatif des charges à appliquer

A36 : Calcul des panneaux en toiture

- Combinaisons :

Combinaisons panneau en toiture	Gk	qk	Qk	Sn1	Sx1	Wp	Ws	kmod	gM
(ELU) Permanente	1,35		0					0,6	1,3
(ELU) Perm + var q1	1,35	1,5	0					0,8	1,3
(ELU) Perm + var Q1	1,35	0	1,5	0	0	0	0	0,8	1,3
(ELU) Perm +Sn1	1,35		0	1,5				0,9	1,3
(ELU) Perm +Sn1+WP	1,35		0	1,5		0,9		1,1	1,3
(ELU) Perm +WP+Sn1	1,35		0	0,75		1,5		1,1	1,3
(ELU) Perm + Sx	1		0		1			1,1	1
(ELU) Perm + WS	1		0				1,5	1,1	1,3
(ELS) Perm	1		0					1	1
(ELS) Perm + qk1	1	1	0					1	1
(ELS) Perm + Qk1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
(ELS) Perm + Ws	1		0				1	1	1
(ELS) Perm + Sn1+ Wp	1		0	1		0,6		1	1
(ELS) Perm + Wp + Sn1	1		0	0,5		1		1	1

Tableau 2: liste des combinaisons pour calculs ELU et ELS

- Résultats :

CLT Toiture 1		Produit:	KLH	128 L
Classe de service		2	largeur	2 250 mm
Kmod		0,6	E efficace	10 856 N/mm ²
γm		1,25		
Kdef		0,8	état	Validé
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion + traction	Cisaillement roulant	Cisaillement
(1)	(ELU) Permanente	72%	18%	17%
(2)	(ELU) Perm + var q1	64%	16%	16%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	54%	14%	13%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	54%	14%	13%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	46%	12%	11%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	44%	11%	2%
(7)	(ELU) Perm + Sx	35%	9%	9%
(8)	(ELU) Perm + WS	9%	2%	2%
ELS				
Ed	Combinaison	δ1		δ2
		Winst(Q)<1/300	Wnet, fin <1/200	Wnet,fin-Wins(gk,1) < (1/500 ou 1/700+5mm)
(9)	(ELS) Perm	0%	45%	57%
(10)	(ELS) Perm + qk1	0%	50%	68%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	38%	45%	57%

A36 : Calcul des panneaux en toiture

(12) (ELS) Perm + Ws	0%	33%	27%
(13) (ELS) Perm + Sn1+ Wp	0%	49%	67%
(14) (ELS) Perm + Wp + Sn1	0%	48%	64%

CLT Toiture 2		Produit:	KLH	146 L
Classe de service		2	largeur	2 250 mm
Kmod		0,6	E efficace	10 793 N/mm ²
γ_m		1,25		
Kdef		0,8	état	Validé
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion + traction	Cisaillement roulant	Cisaillement
(1)	(ELU) Permanente	49%	15%	14%
(2)	(ELU) Perm + var q1	44%	13%	13%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	36%	11%	11%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	37%	11%	11%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	31%	9%	9%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	30%	9%	2%
(7)	(ELU) Perm + Sx	24%	7%	7%
(8)	(ELU) Perm + WS	6%	2%	2%
ELS				
Ed	Combinaison	δ_1		δ_2
		Winst(Q)<1/300	Wnet, fin <1/200	Wnet,fin-Wins(gk,1) < (1/500 ou 1/700+5mm)
(9)	(ELS) Perm	0%	24%	30%
(10)	(ELS) Perm + qk1	0%	26%	35%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	20%	24%	30%
(12)	(ELS) Perm + Ws	0%	17%	14%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	0%	26%	35%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	0%	25%	34%

Tableau 3: résultats pour les deux panneaux les plus défavorables

A36 : Calcul des panneaux en toiture

Comme pour la toiture, nous retenons notre attention sur deux panneaux :

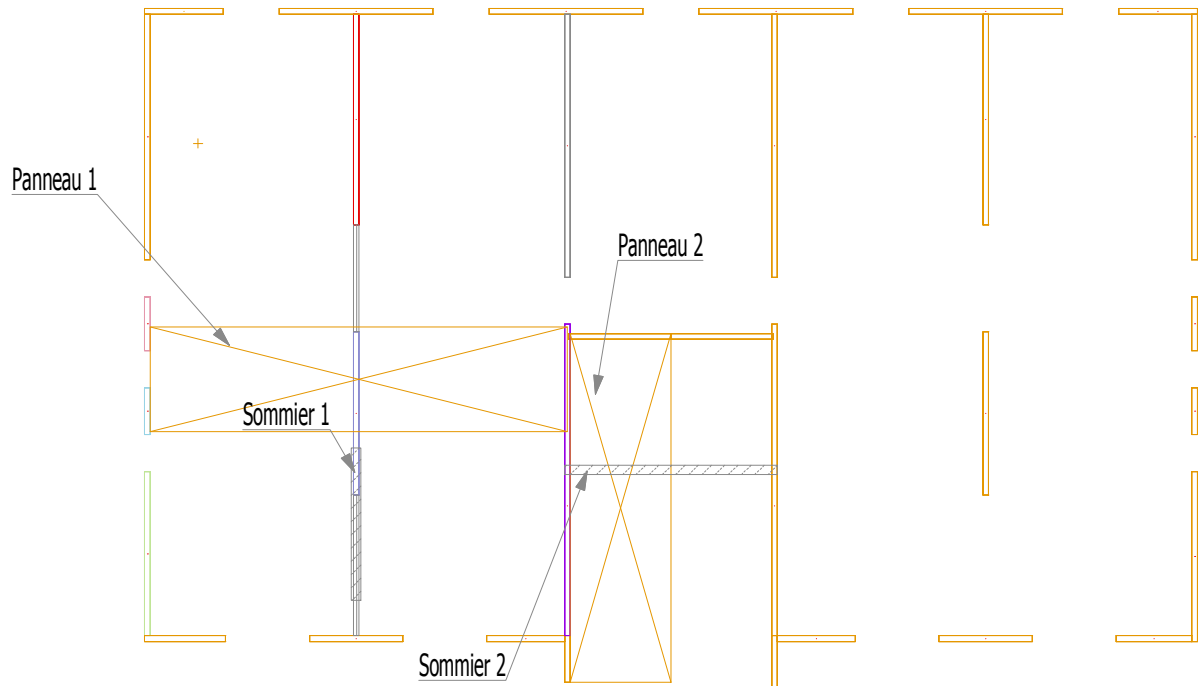


Figure 1: vue en plan avec localisation des éléments calculés

- Modélisation : Poutre 3 Appuis avec une charge répartie

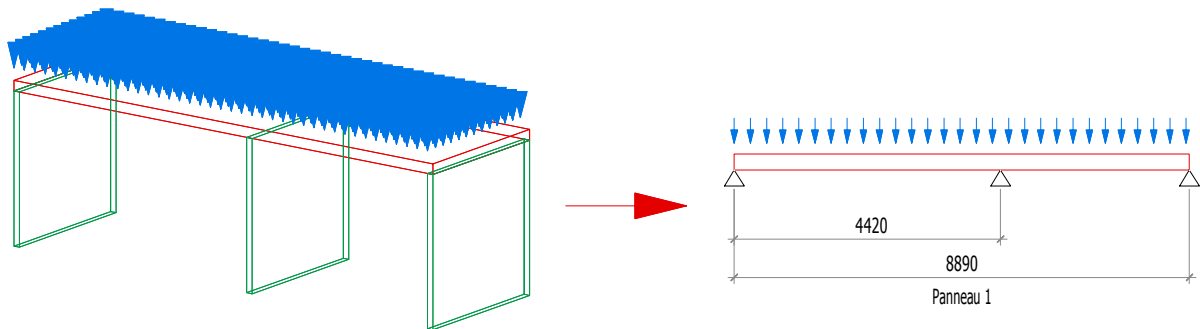


Figure 2: modélisation cas 1

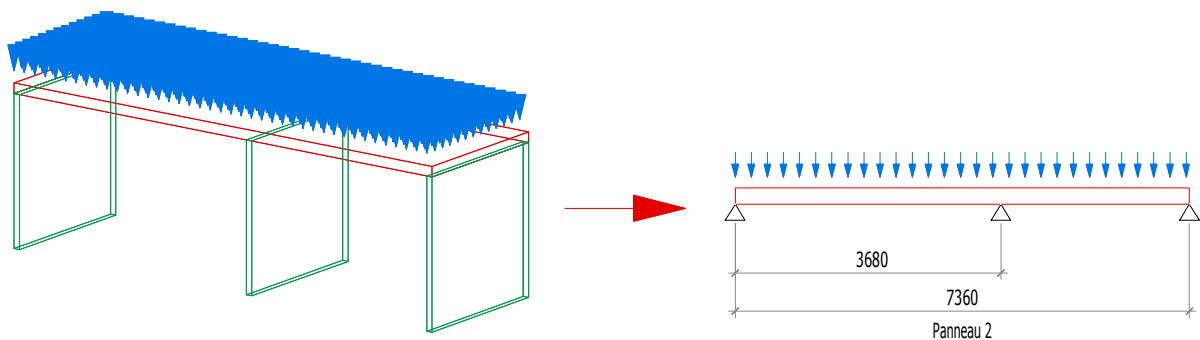


Figure 3: modélisation cas 2

A36 : Calcul des panneaux en toiture

- Critère à respecter :

Sur la totalité de nos panneaux horizontaux en plancher intermédiaire, nous avons une sous-face composée de plaque de plâtre. Nous devons donc respecter plusieurs critères de flèches afin de respecter les tolérances de ces plaques.

Voici les critères de flèches que nous devons respecter :

$$\delta 1: \begin{cases} W_{inst}(Q) \leq l/300 \\ W_{net,fin} \leq l/200 \\ W_{fin} \leq l/125 \end{cases} \text{ et } \delta 2: \begin{cases} W_{net,fin} - W_{inst}(Gk, 1) \leq l/400 \\ \text{ou } \frac{l}{500} \text{ si } l < 5m \text{ et } 5mm + \frac{l}{1000} \text{ si } l \geq 5m \end{cases}$$

- Charges :

	Description	Nom	Total Poids kN/m ²
Structure	Revêtement de sol		0,2
	Chape		0,65
	Isolant phonique		0,044
	CLT		0,7644
	Lambourde		0,0168
	Isolation acoustique		0,02
	Cloison		0,8
Finition	BA13+ rails		0,13
	BA13		0,11
0	Poids propre	gk	2,74
	Poids propre structure	gk1	2,50
	Poids propre finiton	gk2	0,24
Actions climatiques	Neige		
Charge d'exploitation	Catégorie A	qk: 1,5 kN/m ² Qk: 2 kN	

Tableau 1: récapitulatif des charges à appliquer

- Combinaisons :

Combinaisons panneau en plancher intermédiaire	Gk	qk	Qk	Sn1	Sx1	Wp	Ws	kmod	gM
(ELU) Permanente	1,35		0					0,6	1,3
(ELU) Perm + var q1	1,35	1,5	0					0,8	1,3
(ELU) Perm + var Q1	1,35	0	1,5	0	0	0	0	0,8	1,3
(ELS) Perm	1		0					1	1
(ELS) Perm + qk1	1	1	0					1	1
(ELS) Perm + Qk1	1	0	1	0	0	0	0	1	1

Tableau 2: liste des combinaisons pour calculs ELU et ELS

A36 : Calcul des panneaux en toiture

■ Résultats :

CLT Plancher 1		Produit: KLH		128 L
Classe de service		1	Largeur	2 250 mm
Kmod		0,6	E efficace	10 856 N/mm ²
γm		1,25		
Kdef		0,6	Etat	Validé
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion + traction	Cisaillement roulant	Cisaillement
(1)	(ELU) Permanente	86%	22%	21%
(2)	(ELU) Perm + var q1	95%	24%	23%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	64%	16%	16%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	57%	14%	14%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	47%	12%	11%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	47%	12%	8%
(7)	(ELU) Perm + Sx	35%	9%	8%
(8)	(ELU) Perm + WS	35%	9%	8%
ELS				
Ed	Combinaison	δ1		δ2
		Winst(Q)<l/300	Wnet, fin <l/200	Wnet,fin-Wins(gk,1) < (l/500 ou l/700+5mm)
(9)	(ELS) Perm	0%	48%	52%
(10)	(ELS) Perm + qk1	0%	61%	83%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	45%	48%	52%
(12)	(ELS) Perm + Ws	0%	48%	52%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	0%	48%	52%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	0%	48%	52%
Plancher 2		Produit: KLH		128 L
Classe de service		1	Largeur	2 250 mm
Kmod		0,6	E efficace	10 793 N/mm ²
γm		1,25		
Kdef		0,6	Etat	Validé
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion + traction	Cisaillement roulant	Cisaillement
(1)	(ELU) Permanente	58%	18%	17%
(2)	(ELU) Perm + var q1	64%	19%	19%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	44%	13%	13%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	39%	12%	11%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	32%	10%	9%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	32%	10%	7%
(7)	(ELU) Perm + Sx	23%	7%	7%
(8)	(ELU) Perm + WS	23%	7%	7%

A36 : Calcul des panneaux en toiture

ELS				
Ed	Combinaison	δ1		δ2
		Winst(Q)<l/300	Wnet, fin <l/200	Wnet,fin-Wins(gk,1) < (l/500 ou l/700+5mm)
(9)	(ELS) Perm	0%	25%	27%
(10)	(ELS) Perm + qk1	0%	32%	43%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	24%	25%	27%
(12)	(ELS) Perm + Ws	0%	25%	27%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	0%	25%	27%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	0%	25%	27%

Tableau 3: résultats des deux panneaux les plus défavorables

A38 : calcul des sommiers

Pour éviter de placer un mur de refend non présent sur le modèle béton, nous avons décidé de mettre des sommiers pour pouvoir reprendre les panneaux de CLT.

Les sommiers reprenant les panneaux de CLT en toiture ont les mêmes combinaisons que les panneaux de CLT en toiture. (Même principe pour les sommiers reprenant les panneaux de CLT en plancher intermédiaire)

Ils sont modélisé comme des poutres sur deux appuis, avec une charge linéique correspondant à la réaction d'appuis intermédiaire des panneaux réparties sur la longueur de la poutre (= largeur du panneau)

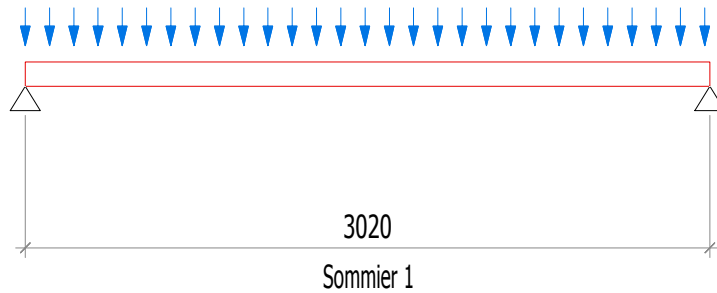


Figure 1: modélisation cas 1

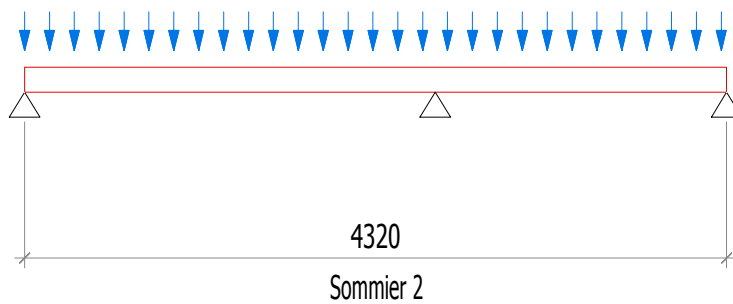


Figure 2: modélisation cas 2

A38 : calcul des sommiers

■ Résultats :

Sommier toiture 2				
Classe de service	2	largeur	200 mm	
Kmod	0,6	Hauteur	330 mm	
ym	1,25	Type de bois	GI24h	
Kdef	0,8	état	Validé	
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion	Cisaillement	Compression appuis
(1)	(ELU) Permanente	83%	65%	20%
(2)	(ELU) Perm + var q1	74%	58%	18%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	62%	48%	15%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	63%	49%	15%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	53%	41%	13%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	51%	40%	12%
(7)	(ELU) Perm + Sx	41%	32%	10%
(8)	(ELU) Perm + WS	10%	8%	2%
ELS				
Ed	Combinaison	$\delta 1$	$\delta 2$	
		Winst(Q)<l/300	Wnet, fin <l/200	Wnet,fin-Wins(gk,1)<(l/500 ou l/1000+5mm)
(9)	(ELS) Perm	51%	94%	65%
(10)	(ELS) Perm + qk1	60%	80%	30%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	53%	76%	19%
(12)	(ELS) Perm + Ws	39%	66%	-5%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	59%	80%	28%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	57%	78%	25%
Sommier plancher 1				
Classe de service	1	largeur	200 mm	
Kmod	0,6	Hauteur	300 mm	
ym	1,25	Type de bois	GI24h	
Kdef	0,6	état	Validé	
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion	Cisaillement	Compression appuis
(1)	(ELU) Permanente	80%	90%	27%
(2)	(ELU) Perm + var q1	88%	98%	30%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	60%	67%	21%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	53%	60%	18%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	44%	49%	15%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	44%	49%	15%
(7)	(ELU) Perm + Sx	32%	36%	11%
(8)	(ELU) Perm + WS	32%	36%	11%
ELS				
Ed	Combinaison	$\delta 1$	$\delta 2$	
		Winst(Q)<l/300	Wnet, fin <l/200	Wnet,fin-Wins(gk,1)<(l/500 ou l/1000+5mm)
(9)	(ELS) Perm	22%	55%	64%
(10)	(ELS) Perm + qk1	31%	40%	25%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	23%	35%	13%
(12)	(ELS) Perm + Ws	22%	34%	10%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	22%	34%	10%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	22%	34%	10%

A38 : calcul des sommiers

Sommier plancher 2				
Classe de service		2	largeur	200 mm
Kmod		0,6	Hauteur	300 mm
ym		1,25	Type de bois	GI24h
Kdef		0,6	état	Validé
ELU				
Ed	Combinaison	Flexion	Cisaillement	Compression appuis
(1)	(ELU) Permanente	84%	85%	24%
(2)	(ELU) Perm + var q1	92%	94%	26%
(3)	(ELU) Perm + var Q1	63%	64%	18%
(4)	(ELU) Perm +Sn1	56%	57%	16%
(5)	(ELU) Perm +Sn1+WP	46%	46%	13%
(6)	(ELU) Perm +WP+Sn1	46%	46%	13%
(7)	(ELU) Perm + Sx	34%	34%	10%
(8)	(ELU) Perm + WS	34%	34%	10%
ELS				
Ed	Combinaison	δ1		δ2
		Winst(Q)<l/300	Wnet, fin <l/200	Wnet,fin-Wins(gk,1)<(l/500 ou l/1000+5mm)
(9)	(ELS) Perm	29%	75%	87%
(10)	(ELS) Perm + qk1	42%	54%	35%
(11)	(ELS) Perm + Qk1	31%	47%	18%
(12)	(ELS) Perm + Ws	29%	46%	14%
(13)	(ELS) Perm + Sn1+ Wp	29%	46%	14%
(14)	(ELS) Perm + Wp + Sn1	29%	46%	14%

A39 : calcul des lisses basses

Résultats des calculs des lisses basses :

Lisse Basse: Hypothèse 1				
largeur du mur	128 mm			
Largeur efficace	128 mm			
Classe	C24	C30	GI24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	Ed2	Ed2
Effort max de compression	235,22 kN/m	235,22 kN/m	235,2238534	235,22 kN/m
Contrainte	1,837686355	1,837686355	1,837686355	1,837686355
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	106%	88%	95%	33%
Lisse Basse: Hypothèse 2				
largeur du mur	128 mm			
Largeur efficace	90 mm			
Classe	C24	C30	GI24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	235,2238534	Ed2
Effort max de compression	235,22 kN/m	235,22 kN/m	235,2238534	235,22 kN/m
Contrainte	2,613598371	2,613598371	2,613598371	2,613598371
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	151%	126%	134%	47%
Lisse Basse: Hypothèse 3				
largeur du mur	128 mm			
largeur des plis verticaux	90 mm			
largeur des plis horizontaux	38 mm			
Classe	C24	C30	GI24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	Ed2	Ed2
Effort max de compression	235,2238534	235,2238534	235,2238534	235,2238534
Contrainte due aux plis verticaux	2,349301907	2,349301907	2,349301907	2,349301907
Fc,o,k (mur)	24	24	24	24
Fc,90,k (mu)	2,7	2,7	2,7	2,7
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	136%	113%	121%	42%

A39 : calcul des lisses basses

Lisse Basse: Hypothèse 1				
largeur du mur	128 mm			
Largeur efficace	128 mm			
Classe	C24	C30	Gl24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	Ed2	Ed2
Effort max de compression	235,22 kN/m	235,22 kN/m	235,2238534	235,22 kN/m
Contrainte	1,837686355	1,837686355	1,837686355	1,837686355
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	106%	88%	95%	33%

Lisse Basse: Hypothèse 2				
largeur du mur	128 mm			
Largeur efficace	90 mm			
Classe	C24	C30	Gl24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	235,2238534	Ed2
Effort max de compression	235,22 kN/m	235,22 kN/m	235,2238534	235,22 kN/m
Contrainte	2,613598371	2,613598371	2,613598371	2,613598371
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	151%	126%	134%	47%

Lisse Basse: Hypothèse 3				
largeur du mur	128 mm			
largeur des plis verticaux	90 mm			
largeur des plis horizontaux	38 mm			
Classe	C24	C30	Gl24h	D30
Combinaison	Ed2	Ed2	Ed2	Ed2
Effort max de compression	235,2238534	235,2238534	235,2238534	235,2238534
Contrainte due aux plis verticaux	2,349301907	2,349301907	2,349301907	2,349301907
Fc,o,k (mur)	24	24	24	24
Fc,90,k (mu)	2,7	2,7	2,7	2,7
Fc,90,k	2,5	3	2,7	8
Kmod	0,9	0,9	0,9	0,9
Gamma m	1,3	1,3	1,25	1,3
Taux de travail	136%	113%	121%	42%

A40 : calcul des murs porteurs

Les murs dans notre bâtiment servent à reprendre les descentes de charges verticales transmises par les panneaux en planchers (travail en compression) mais aussi les efforts de vent qui leurs sont direction appliqués (travail en flexion).

Il faudra faire attention dans le calcul des murs et dans le choix des combinaisons car les panneaux de plancher en toiture reprennent des charges de neige, contrairement aux panneaux en plancher intérieur. Nous avons donc calculés nos murs comme travaillant uniquement en compression (sans le $K_{mod}=1,1$ engendré par le vent) et en compression et flexion.

Le bâtiment étant symétrique, tous les résultats ne seront pas dans cette Annexe.

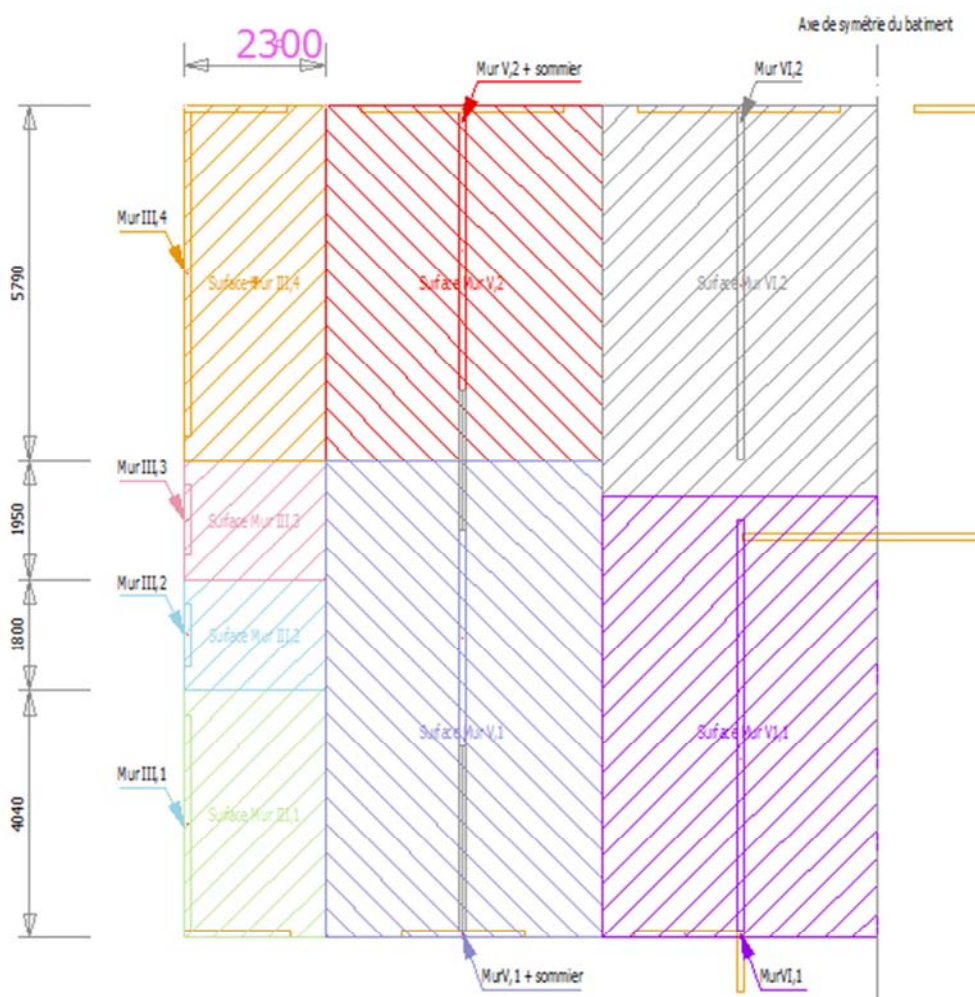


Figure 1: surface de chargement pour les murs en compression

A40 : calcul des murs porteurs

	Description	Nom	Total Poids Kn/m ²
Structure	Gravier		0,8
	Complexe étanchéité		0,065
	Isolation rigide		0,25
	CLT		0,7644
	Lambourde		0,0168
	Isolation acoustique		0,02
Finition	BA13+ rails		0,13
	BA13		0,11
Résultats	Poids propre	gk	2,29 kN/m ²
	Poids propre structure	gk1	2,05 kN/m ²
	Poids propre finiton	gk2	0,24 kN/m ²
Actions climatiques	Neige		0,56 kN/m ²
	Vent en pression		0,26 kN/m ²
	Vent en dépression		1,07 kN/m ²
Charge d'exploitation	Catégorie H	qk: 0,8 kN/m ²	Qk: 1,5 kN

Tableau 1: charge panneaux en toiture

	Description	Nom	Total Poids Kn/m ²
Structure	Revêtement de sol		0,2
	Chape		0,65
	Isolant phonique		0,044
	CLT		0,7644
	Lambourde		0,0168
	Isolation acoustique		0,02
	Cloison		0,8
Finition	BA13+ rails		0,13
	BA13		0,11
Résultats	Poids propre	gk	2,74 kN/m ²
	Poids propre structure	gk1	2,50 kN/m ²
	Poids propre finiton	gk2	0,24 kN/m ²
Actions climatiques	Neige		
Charge d'exploitation	Catégorie A	qk: 1,5 kN/m ²	Qk: 2 kN

Tableau 2: charge panneau en plancher

A40 : calcul des murs porteurs

Toiture				plancher			
Combinaison ELU retenue	kmod	charge/kmod	Charge	Combinaison ELU retenue	kmod	charge/kmod	Charge
Ed1: 1,35*gk	0,6	5,14395	3,09 kN/m ²	Ed1: 1,35*gk	0,6	6,1542	
Ed2:1,35*gk+1,5*qk	0,9	4,768333333	4,29 kN/m ²	Ed2:1,35*gk+1,5*qk	0,9	6,61	5,95 kN/m ²
Ed3: 1,35*G+1,5*Sn1	0,9	4,362633333	3,93 kN/m ²				
Ed4: 1,35*gk+1,5*Sn1+1,5*0,6Wp	1,1	3,786818182	4,16 kN/m ²				
Ed5: 1,35*G+1,5Wp+1,5*0,5*Sn1	1,1	3,546818182	3,90 kN/m ²				
Ed6: 1,35*g+1,5*W*1,05*q	1,1	3,928636364	4,32 kN/m ²	Ed6: 1,35*g+1,5*W*1,05*q	1,1		5,27 kN/m ²

Tableau 3: descente de charges verticales sur les murs

Mur	Surface reprise (m ²)	Longeur du mur (mm)	Etage 3		Etage 2		Etage 1		RDC		Taux de travail en compression
			charge	kmod	charge	kmod	charge	kmod	charge	kmod	
III,1	9,3	3520	8,15 kN/m	0,6	27,04 kN/m	0,9	44,51 kN/m	0,9	61,97 kN/m	0,9	4%
III,2	4,2	1000	12,96 kN/m	0,6	42,99 kN/m	0,9	70,75 kN/m	0,9	98,51 kN/m	0,9	6%
III,3	4,5	1150	12,08 kN/m	0,6	40,05 kN/m	0,9	65,92 kN/m	0,9	91,78 kN/m	0,9	6%
III,4	13,4	5270	7,85 kN/m	0,6	26,03 kN/m	0,9	42,83 kN/m	0,9	59,64 kN/m	0,9	4%
V,1	35,1	3500	30,95 kN/m	0,6	102,65 kN/m	0,9	168,93 kN/m	0,9	235,22 kN/m	0,9	15%
V,2	26,1	4520	17,82 kN/m	0,6	59,10 kN/m	0,9	97,27 kN/m	0,9	135,44 kN/m	0,9	9%
VI,1	32,3	6690	14,90 kN/m	0,6	49,42 kN/m	0,9	81,33 kN/m	0,9	113,24 kN/m	0,9	7%
VI,2	28,7	5650	15,67766708	0,6	51,99205646	0,9	85,56851664	0,9	119,1449768	0,9	Mur en béton

Tableau 4: résultats murs en compression

qp	535 Pa						Panneau	KLH	128 Q	
(Cpe-Cpi)max	1,13		kc	1			beff		2622 mm	
Effort de vent m	0,60 kN/m ²		kcrit	1			hauteur		3 m	
Combinaison	Ed6: 1,35*g+1,5*W*1,05*q									
Kmod	1,1									
Mur	Surface chargée	Longeur du mur (mm)	niveau 3		niveau 2		niveau 1		RDC	
			charge	kmod	charge	kmod	charge	kmod	charge	kmod
III,1	9 m ²	3 520 mm	11,42 kN/m	1,1	25,33 kN/m	1,1	39,25 kN/m	1,1	53,17 kN/m	1,1
III,2	4 m ²	1 000 mm	18,15 kN/m	1,1	40,27 kN/m	1,1	62,40 kN/m	1,1	84,52 kN/m	1,1
III,3	5 m ²	1 150 mm	16,91 kN/m	1,1	37,52 kN/m	1,1	58,13 kN/m	1,1	78,75 kN/m	1,1
III,4	13 m ²	5 270 mm	10,99 kN/m	1,1	24,38 kN/m	1,1	37,78 kN/m	1,1	51,17 kN/m	1,1
V,1	35 m ²	3 500 mm	43,34 kN/m	1,1	96,16 kN/m	1,1	148,99 kN/m	1,1	201,82 kN/m	1,1
V,2	26 m ²	4 520 mm	24,95 kN/m	1,1	55,37 kN/m	1,1	85,79 kN/m	1,1	116,20 kN/m	1,1
VI,1	32 m ²	6 690 mm	20,86 kN/m	1,1	46,30 kN/m	1,1	71,73 kN/m	1,1	97,16 kN/m	1,1
VI,2	29 m ²	5 650 mm	21,95 kN/m	1,1	48,71 kN/m	1,1	75,47 kN/m	1,1	102,22 kN/m	1,1
Flexion+compression: effort de vente et résultats										
Mur	Surface au vent	Longeur du mur (mm)	charge surfacique de vent	charge linéique de vent	kmod	Taux de travail en	Taux aux ELS (Winst<l/500)	Taux max en compressi	Taux de travail ELU	
III,1	13 m ²	3 520 mm	7,86 kN/m ²	2,23 N/mm	1,1	3%	6%	4%	7%	
III,2	6 m ²	1 000 mm	3,63 kN/m ²	3,63 N/mm	1,1	15%	33%	6%	21%	
III,3	6 m ²	1 150 mm	3,63 kN/m ²	3,15 N/mm	1,1	11%	25%	6%	17%	
III,4	18 m ²	5 270 mm	10,88 kN/m ²	2,06 N/mm	1,1	2%	4%	4%	6%	
V,1	0 m ²	3 500 mm	0,00 kN/m ²	0,00 N/mm	1,1	Mur intérieur		15%	15%	
V,2	0 m ²	4 520 mm	0,00 kN/m ²	0,00 N/mm	1,1			8%	8%	
VI,1	0 m ²	6 690 mm	0,00 kN/m ²	0,00 N/mm	1,1			7%	7%	
VI,2	0 m ²	5 650 mm	0,00 kN/m ²	0,00 N/mm	1,1			7%	7%	

Tableau 5: résultats murs en flexion + compression

Le taux de travail à l'ELS représente le déplacement perpendiculaire au plan du panneau (au dé placement qui pourrait influencer la plaque de plâtre fixée sur ce panneau.)

A41 : calcul contreventement

Déplacement du système de mur I				
Données			Klh	128Q
Gmean	690 N/mm ²			
Kdef	0,6			
Hauteur du bâtiment	11200 mm			
L/500	22,4 mm			
Raideur des assemblages en pied				
étage 3	6050 N/mm			
étage 2	8720 N/mm			
étage 1	11300 N/mm			
RDC	14600 N/mm			
Résultats				
déplacement	critère	Déplacement	Taux	
étage 3	h/500	0,296801275	5%	
étage 2	h/500	0,522509294	9%	
étage 1	h/500	0,740568734	13%	
RDC	h/500	0,95025548	17%	
Calcul				
Système de mur	Panneaux	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	flèche à respecter
I	1	1740	2800	5,6
	2	2000	2800	5,6
	3	1670	2800	5,6
	4	1670	2800	5,6
	5	2000	2800	5,6
	6	1740	2800	5,6
étage 3				
effort en tête de mur	effort d'ancrage en pied	dxii (mm)	Angle	dxi (mm)
1359	2186,896552	0,039617691	0,000207742	0,010152184
1562	2186,8	0,039615942	0,000180727	0,008832011
1304	2186,347305	0,039607741	0,000216395	0,010575068
1304	2186,347305	0,039607741	0,000216395	0,010575068
1562	2186,8	0,039615942	0,000180727	0,008832011
1359	2186,896552	0,039617691	0,000207742	0,010152184
étage 2				
effort en tête de mur	effort d'ancrage en pied	dxii	alpha	dxi
2548	4100,229885	0,074279527	0,000270236	0,013206219
2928	4099,2	0,07426087	0,000235046	0,011486525
2445	4099,401198	0,074264514	0,000281506	0,013756992
2445	4099,401198	0,074264514	0,000281506	0,013756992
2928	4099,2	0,07426087	0,000235046	0,011486525
2548	4100,229885	0,074279527	0,000270236	0,013206219
étage 1				
effort en tête de mur	effort d'ancrage en pied	dxii	alpha	dxi
3737	6013,563218	0,108941363	0,000305847	0,014946527
4294	6011,6	0,108905797	0,000266	0,012999234
3586	6012,45509	0,108921288	0,000318608	0,015570159
3586	6012,45509	0,108921288	0,000318608	0,015570159
4294	6011,6	0,108905797	0,000266	0,012999234
3737	6013,563218	0,108941363	0,000305847	0,014946527
RDC				
effort en tête de mur	effort d'ancrage en pied	dxii	alpha	dxi
4926	7926,896552	0,143603198	0,000312033	0,015248854
5660	7924	0,143550725	0,00027137	0,013261655
4727	7925,508982	0,143578061	0,000325056	0,015885246
4727	7925,508982	0,143578061	0,000325056	0,015885246
5660	7924	0,143550725	0,00027137	0,013261655
4926	7926,896552	0,143603198	0,000312033	0,015248854

Tableau 1: récapitulatif pour les murs les plus défavorables

A42 : calcul linteau

Hypothèses :

Nous avons considéré le cas le plus défavorable : celui où un linteau servirait d'appuis à un panneau composant le plancher.

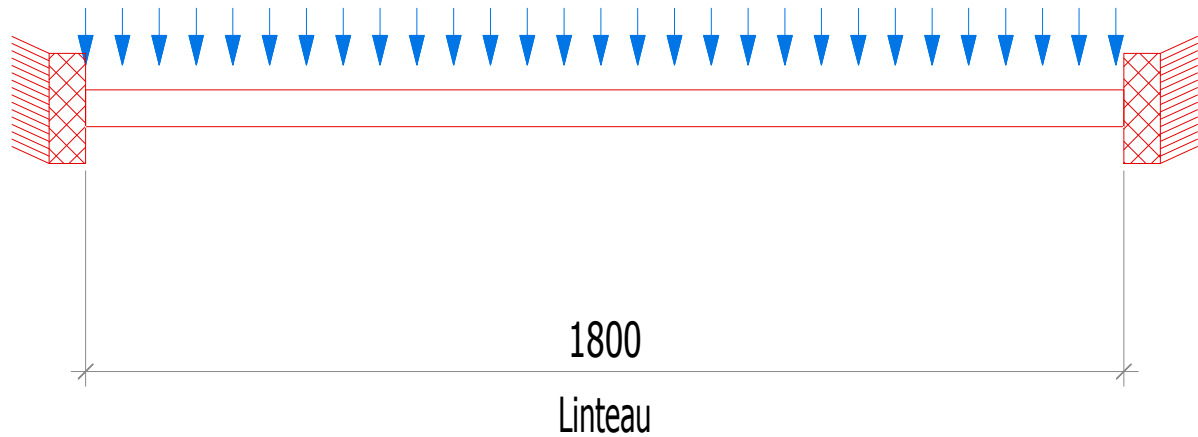


Figure 1: modélisation linteau

Combinaisons la plus défavorables : $E_d : 1.35 g_k + 1.5 * q_k$ avec $g_k = 2.74 \text{ kN/m}^2$ et $q_k = 1.5 \text{ kN/m}^2$

$K_{mod} : 0.9$

$\Gamma_m : 1.25$

Bande de chargement : 6 m^2

Charge linéique : $19,83 \text{ kN/m}$

$F_{m,k} : 24 \text{ N/mm}^2$

$\sigma : 0.21 \text{ N/mm}^2$

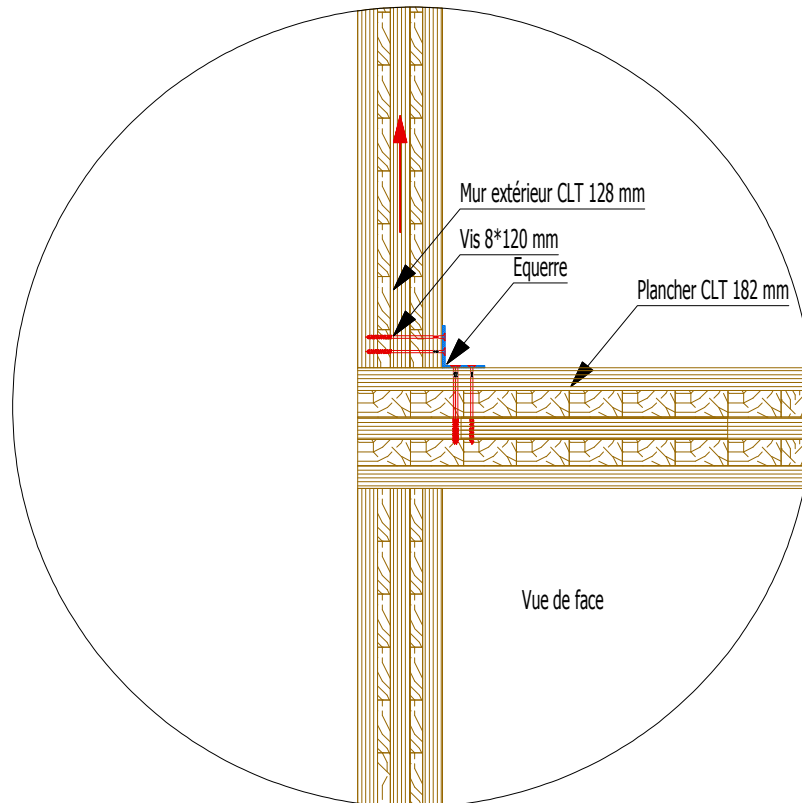
$F_{m,d} : 17,28 \text{ N/mm}^2$

Taux de travail en flexion : $1,2 \%$

$W_{inst} = 0.2 \text{ mm}$

$l/500 : 3,6 \text{ mm}$

Taux de travail pour la flèche : 8%

A43 : calcul assemblage - équerre

Sur cette équerre, nous pouvons voir que les vis dans le mur travaillent à l'arrachement et que les vis dans le plancher travaillent en cisaillement. En effet, nous avons vu dans la partie 8,4 que le mur tend à se soulever lorsqu'il sert de contreventement. Etant en présence d'une équerre, les modes de cisaillement calculés sont ceux d'un assemblage bois métal et, étant en présence d'un assemblage bois/métal, le K_{ser} sera multiplié par deux selon les EC5.

Raideur de l'assemblage K :

L'assemblage de l'équerre est composé de plusieurs vis sur des plans de cisaillement différents.

$K_{ser,x}$: Raideur suivant l'axe x (vis (2))

$K_{ser,y}$: Raideur suivant l'axe y (vis(1))

$$\text{Formule de } K_{ser} : K_{ser} = d * \frac{(\rho_m^{1.5})}{23}$$

ρ_m : Masse volumique du bois (kg/m^3)

D : diamètre de l'organe (mm)

$$K_{ser,fin} : K_{ser,fin} = \frac{K_{ser}}{(1+K_{def})}$$

A43 : calcul assemblage - équerre

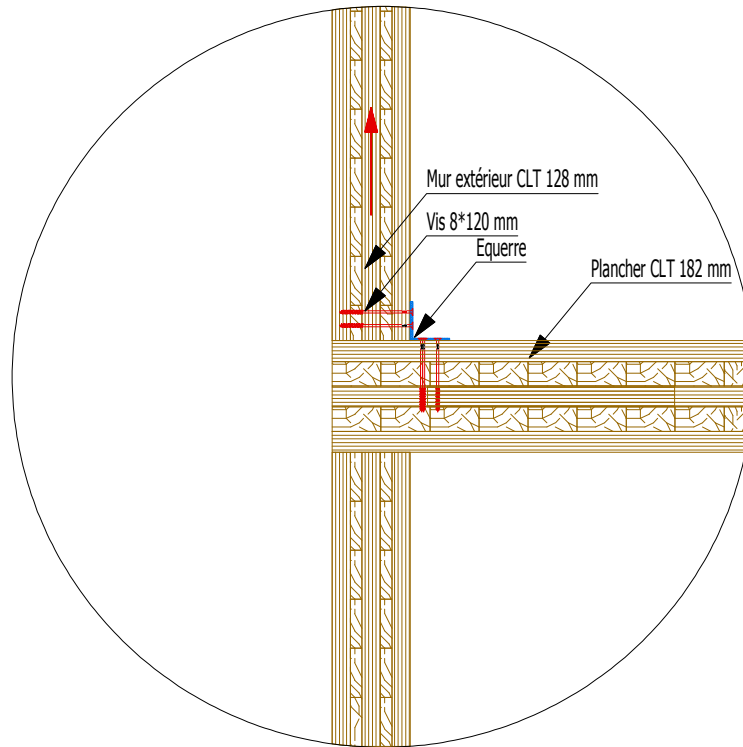
Tableau récapitulatif des équerres les plus chargée par étage :

Hypothèse :

- Les vis sont perpendiculaires au fil du bois.
- Le poids propre est négligé pour le calcul des efforts dans l'ancrage (phase de chantier)
- Vis : 8*120 mm (Rothoblaas Tbs)
- Epaisseur du mur : 128 mm
- Epaisseur du plancher : 182 mm
- Vis perpendiculaire au fil du bois
- Diamètre extérieur du filet : 8 mm
- Diamètre intérieur : 5,40 mm
- Diamètre de la tête : 19 mm
- $F_{u,k}$: 1000 N/mm² (cahier des charges Rothoblaas)
- Effet de corde : 100%
- Calcul selon le paragraphe 8.7 « Assemblages par tire-fond » de l'EC5

Niveau	Vis			effort	Taux de travail		Kser,fin
	diamètre	longueur	nombre		Cisaillement	Arrachement	
étage 3	8 mm	120 mm	6x2	9 058N	56%	43%	6 050,00N/ mm
étage 2	8 mm	120 mm	9x2	16 983N	73%	56%	8 720,00N/ mm
étage 1	8 mm	120 mm	12x2	24 908N	82%	63%	11 295,00N/ mm
RDC	8 mm	120 mm	16x2	32 833N	84%	64%	14 635,00N/ mm

* Calculé avec des vis 8*120 TBS de chez Rothoblass

A44 : calcul assemblage – mur extérieur/mur de refend

Hypothèses de calcul :

Effort de cisaillement max : 32833 N

Vis : 8*200 mm (Rothoblaas Tbs)

Epaisseur du mur : 128 mm

Epaisseur du plancher 182 mm

Vis perpendiculaire au fil du bois

Diamètre extérieur du filet : 8 mm

Diamètre intérieur : 5,40 mm

Diamètre de la tête : 19 mm

$F_{u,k}$: 1000 N/mm² (cahier des charges Rothoblaas)

Effet de corde : 100%

Entraxe des vis : 130 mm

Nombre de vis : 12

Calcul selon le paragraphe 8.7 « Assemblages par tire-fond » de l'EC5

On obtient une résistance au cisaillement $F_{v,Ed}$ de 36 667 N. Notre assemblage a donc un taux de travail à 90 % dans le cas le plus défavorable.

Pour effectuer le métré des vis de notre bâtiment, nous nous sommes basés sur les efforts de contreventement les plus défavorables par étage. Etant dans la réalisation d'un métré pour une phase d'appel d'offre, ce mode de calcul semble convenable. Cependant, étant donné le nombre de vis que l'on a dans le bâtiment et les coûts que cela engendre, il paraît nécessaire d'avoir un outil informatique capable d'optimiser le nombre de vis afin de ne pas trop surévaluer le coût de nos fournitures.