



DE LIMA OLIVEIRA PAIXAO, Giovanna
5GC
2eme Semestre 2023-2024

ÉCOLE NATIONALE D'INGÉNIEURS DE SAINT-ÉTIENNE
ÉCOLE INTERNE DE L'ÉCOLE CENTRALE DE LYON
58 rue Jean Parot – 42023 Saint-Étienne cedex 2

Rapport de Période Industrielle - PFE
(Mars 2023- Sept 2023)

Les Hauts de Terrenoire – Suivie du projet de construction de 3 bâtiments – rue des Hauts de Terrenoire à Saint-Étienne et validation du principe constructif en béton de bois.

ANNEXE I – Plans de coffrage DCE lot C1, C2 et C3 et ratios.
ANNEXE II – Mémoire technique béton de bois

**INGENIERIE
CONSTRUCTION**

BUREAU D'ETUDES STRUCTURES
POUR LE BATIMENT
MEMBRE DE LA CHAMBRE DES INGENIEURS
CONSEILS DE France

17B, Rue de la Presse – 42000 SAINT-ETIENNE
Tél : 04 77 91 30 50

MEMBRES DU JURY :

Professeur(s) responsable(s) : M. Eric PERRIN
Ingénieur(s) responsable(s) : M. Sylvain Valezy
Ingénieur neutre : Mme DETOUR Marie

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P149I Paixão, Giovanna de Lima Oliveira.
Les Hauts de Terrenoire – Suivie du projet de construction de 3 bâtiments :
Rue des Hauts de Terrenoire à Saint-Étienne et validation du principe
constructif en béton de bois / Giovanna de Lima Oliveira Paixão. -- Ilha Solteira:
[s.n.], 2024
31 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) -
Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira,
2024

Orientador: Adriano Souza

Inclui bibliografia

1. Béton de bois. 2. Phase PRO/DCE. 3. Structure . 4. Béton.

Remerciements

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à l'ensemble du personnel de l'IC42 - Ingénierie Construction à Saint-Étienne, qui m'a accueilli lors de mon stage et qui m'a beaucoup appris à tous les niveaux.

L'ENISE qui m'a offert la possibilité d'étudier dans un cadre de double diplôme et, par conséquent, de passer cette période industrielle.

À mon professeur tuteur, M. Perrin, qui a suivi ma progression dans l'entreprise en orientant les missions intéressantes pour mon parcours, pour sa disponibilité et pour son soutien.

Monsieur Sylvain VALEZY qui a cru en mon potentiel et m'a accueillie au sein de son entreprise.

À ce titre, je souhaiterais remercier tout particulièrement M. Quentin Pastor et M. Ludovic Dumoulin, qui m'ont épaulée, conseillée et qui m'ont surtout transmis leurs expertises dans le domaine des structures en béton armé. Ils étaient présents au quotidien pour répondre à mes questions. Leurs connaissances et le temps qu'ils m'ont consacré m'ont permis d'acquérir de nouvelles compétences et de perfectionner celles que j'avais déjà.

Je tiens également à témoigner ma reconnaissance à toute l'équipe de IC42 (Jean-Fabrice, Julien, Loïc Mounier, Yannick, Florie et Philippe) pour le temps qu'ils m'ont consacré afin de me faire découvrir le domaine du béton armé en bureau d'études.

J'ai réellement pu progresser en tout point grâce à chacune des personnes de l'équipe qui n'ont jamais hésité à m'apporter leur aide et leur expérience. Elles ont donc toutes contribué à m'apporter une expérience professionnelle très enrichissante qui sera un réel outil pour mon futur projet professionnel.

Introduction

Dans le cadre de mon contrat de professionnalisation en collaboration avec l'ENISE, je suis depuis plus d'un an au sein d'un bureau d'études spécialisé dans les calculs de béton armé, INGENIERIE CONSTRUCTION.

Durant cette période, j'ai eu l'occasion de gérer plusieurs projets avec l'aide d'ingénieurs plus expérimentés. J'ai ainsi dû échanger avec d'autres parties prenantes, gérer les appels, contrôler le travail des dessinateurs et effectuer les divers calculs. Cela m'a demandé une grande capacité d'adaptation ainsi qu'une organisation rigoureuse.

D'entre les projets que j'avais à gérer, j'ai eu la mission de faire une étude en phase PRO des trois bâtiments neufs à construire à Saint Etienne. Ce projet, est aussi un projet pilote de l'utilisation du principe constructif en béton de bois.

Ce rapport va donc reprendre l'ensemble des étapes effectuées pour la réalisation de mon PFE. Il sera composé d'une première partie, assez brève, dans laquelle je présenterai INGENIERIE CONSTRUCTION, mon organisme d'accueil, de façon assez rapide. Puis, dans un second temps, je présenterai mon projet « Les Hauts de Terrenoire » et les phases d'étude de ce projet.

Sommaire

I.	Présentation de l'entreprise	5
1.	Un groupe régional dynamique	5
2.	Une entreprise en plein développement	5
3.	Organigramme l'entreprise	6
4.	Analyse DDRS (Développement durable et Responsabilité sociétale).....	6
5.	Réalisations :	7
II.	CONTEXTE DU PFE	8
1.	Justification du projet et présentation des sujets :	8
2.	Présentation générale du projet : Hauts de Terrenoire.....	8
I.	Développement du PFE	9
1.	Appropriation du projet.....	10
2.	Hypothèses de projet	12
a.	Hypothèses générales	12
b.	Actions	12
c.	Feu	13
d.	Géotechniques	13
II.	Validation du principe constructive - Béton de Bois.	15
III.	Modélisation et dimensionnement des éléments structuraux.....	18
a.	Dalles	18
b.	Poutres, Bande noyées et linteaux	20
c.	Poteaux	22
d.	Voile	23
e.	Poutres voiles.	24
f.	Acrotères :	25
g.	Fondations :	25
IV.	Retour D'expérience	28
V.	Conclusion	29
	Bibliographie.....	30
	Liste des figures	31

I. Présentation de l'entreprise

1. Un groupe régional dynamique

Créé en 1975, INGENIERIE CONSTRUCTION (IC) compte à ce jour 2 structures implantés en région Rhône-Alpes Auvergne.

- IC (Ingénierie Construction) : C'est le bureau au sein duquel j'effectue mon contrat PRO. Il est spécialisé dans la construction en béton armé. En plus du siège qui se trouve à Saint-Etienne, une succursale est présente à Aubière, près de Clermont-Ferrand.

2. Une entreprise en plein développement

INGENIERIE CONSTRUCTION a été fondée en 1975, et s'est développée au fil des années pour avoir aujourd'hui un rayon d'activité s'étendant au secteur régional.

L'entreprise compte à ce jour avec 16 salariés faisant d'elle une PME (Petite et Moyenne Entreprise). Le chiffre d'affaires de la société est en perpétuelle augmentation depuis trois ans (cf. Figure 1)

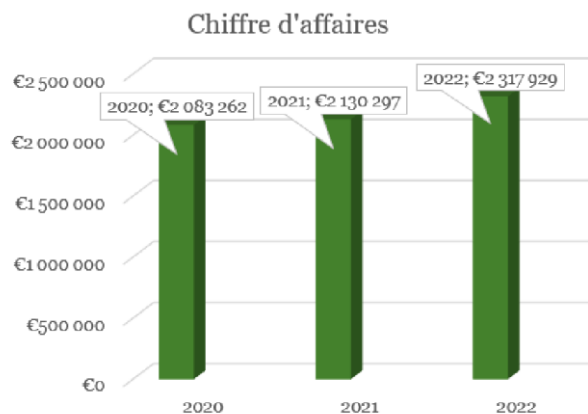


Figure 1 - Chiffre d'affaires Ingénierie Construction depuis trois ans

L'entreprise est, à ce jour, membre de la Chambre des Ingénieurs Conseils de France via une certification OPQIBI (Organisme Professionnel de Qualification de l'Ingénierie Bâtiment-Industrie).

Le siège social se trouve à Saint-Etienne, au 17B rue de la Presse à proximité du stade Geoffroy-Guichard et du pôle recherche de l'ENISE (cf. Figure 2)

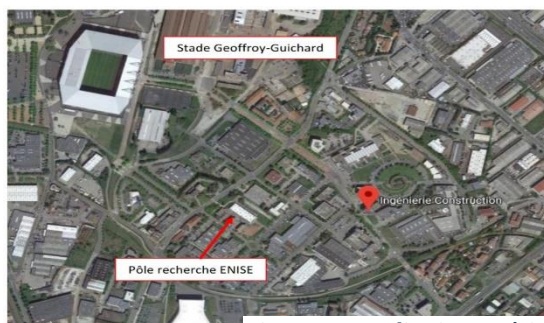
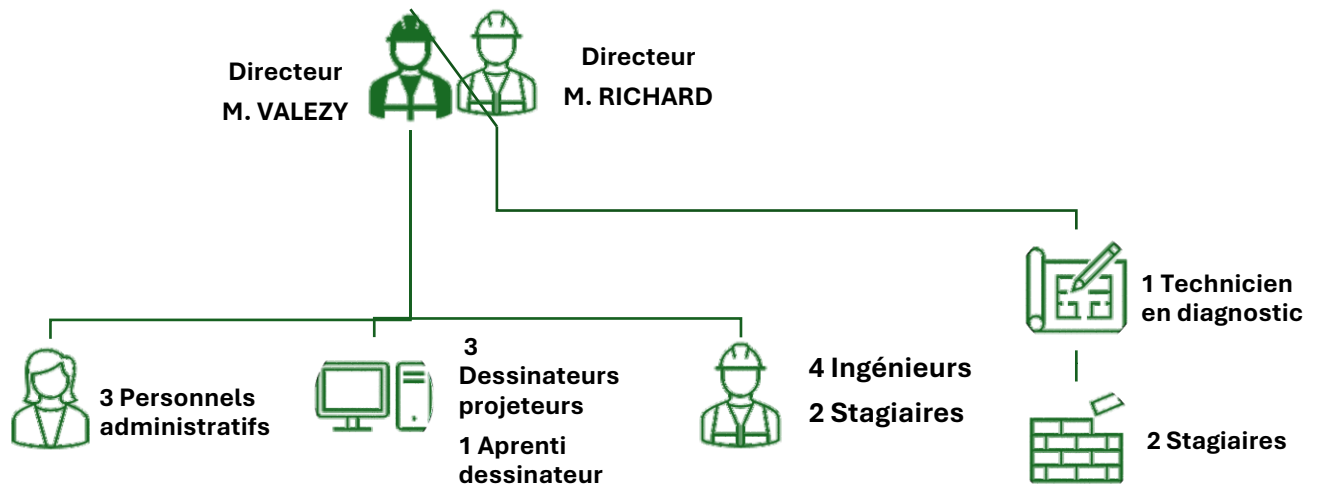


Figure 2 - Localisation Ingénierie Construction Saint Etienne (42)

3. Organigramme l'entreprise

Actuellement composée de 16 collaborateurs, comprenant des ingénieurs, des dessinateurs-projeteurs, et du personnel administratif, l'entreprise est dirigée par deux gérants, MM. RICHARD et VALEZY.



4. Analyse DDRS (Développement durable et Responsabilité sociétale)

Pour cette période en entreprise, l'Enise nous invite à réaliser une analyse des aspects DDRS (développement durable et responsabilité sociale des entreprises), en s'appuyant sur les Objectifs de Développement Durable (ODD).



Figure 3 - Objectifs de Développement Durable (ODD)

En France les entreprises sont encouragées à aligner leurs stratégies avec les 17 ODD adoptés par les Nations Unies pour promouvoir un développement durable à l'échelle mondiale.

Chez IC42, bureau d'études structurel historiquement centré sur l'utilisation du béton armé, ils reconnaissent l'impact environnemental significatif de ce matériau, notamment en termes de pollution et d'émissions de CO₂. Pour répondre à ce défi, ils ont entrepris une démarche de spécialisation dans l'utilisation de matériaux alternatifs tels que les bétons composites et le bois, afin d'intégrer ces matériaux dans leurs domaines d'expertise.

Cette transition s'inscrit pleinement dans l'Objectif de Développement Durable (ODD) n°12 : "Consommation et production responsables", qui encourage une utilisation plus efficace des ressources naturelles et la réduction des déchets. En élargissant leur expertise à ces matériaux durables, ils visent à diminuer leur empreinte carbone, à favoriser une construction plus écologique, et à promouvoir des pratiques qui répondent aux exigences environnementales actuelles, tout en offrant des solutions innovantes à leurs clients.

En lien avec leur responsabilité sociale, IC42 maintient une communication transparente avec leurs parties prenantes, clients comme employés. Ils s'efforcent d'être aussi efficaces que possible pour que chacun comprenne et soutienne leurs actions, notamment leur engagement envers des pratiques plus durables.

5. Réalisations :



Figure 4 - Réhabilitation des bâtiments 3 et 4 École d'ingénieur Sigma



Figure 6 - Restructuration Lycée Honoré d'Urfé Saint-Etienne (42)



Figure 5 - Construction ateliers de formation lycée Henri Sainte-Claire Deville Issoire (63)

II. CONTEXTE DU PFE

1. Justification du projet et présentation des sujets :

Après discussion avec mon tuteur, M. VALEZY, et l'ingénieur M. PASTOR, nous avons défini deux grandes missions pour ma deuxième période de stage :

1°. Suivi du projet des 40 logements Haut des Terrenoire à Saint-Étienne en phase PRO :

Cela inclut le dimensionnement, la validation du principe constructif et la détermination des dimensions de tous les éléments porteurs, mais aussi la préparation du PRO/DCE en assurant les échanges avec le dessinateur, l'économiste, l'architecte et le thermicien.

Cette phase est importante dans le processus du projet, car c'est elle qui permet au maître d'ouvrage, en l'occurrence TOIT FOREZIEN, de budgétiser de façon précise le futur chantier. Une petite erreur localisée en un seul endroit ne portera pas à conséquence, mais une petite erreur présente à chaque étage peut mener à la catastrophe. Il est donc nécessaire de mener un travail rigoureux sur cette phase pour n'omettre aucune étape et anticiper les probables aléas de chantier.

2°. Recherche sur le béton de bois :

La deuxième mission était initialement prévue comme une synthèse des outils de calcul en fichiers Excel, dans le but de créer une base commune pour tous les ingénieurs de l'entreprise. Cependant, en raison des priorités liées aux projets en cours, cette tâche n'a pas pu être accomplie.

Au lieu de cela, j'ai été chargé d'effectuer des recherches sur le béton de bois et de préparer un mémoire technique avec toutes les informations nécessaires à son utilisation. Étant donné qu'il s'agit d'un nouveau matériau et que c'est la première fois qu'il est utilisé dans un bâtiment R+3, cette recherche a été importante.

2. Présentation générale du projet : Hauts de Terrenoire

Mené par Le Toit Forézien, le projet Hauts de Terrenoire fait partie d'une grande réhabilitation du quartier Terrenoire. Parmi plusieurs bâtiments aménagés, il est prévu de construire 40 logements sociaux répartis en trois bâtiments : C1, C2 et C3.

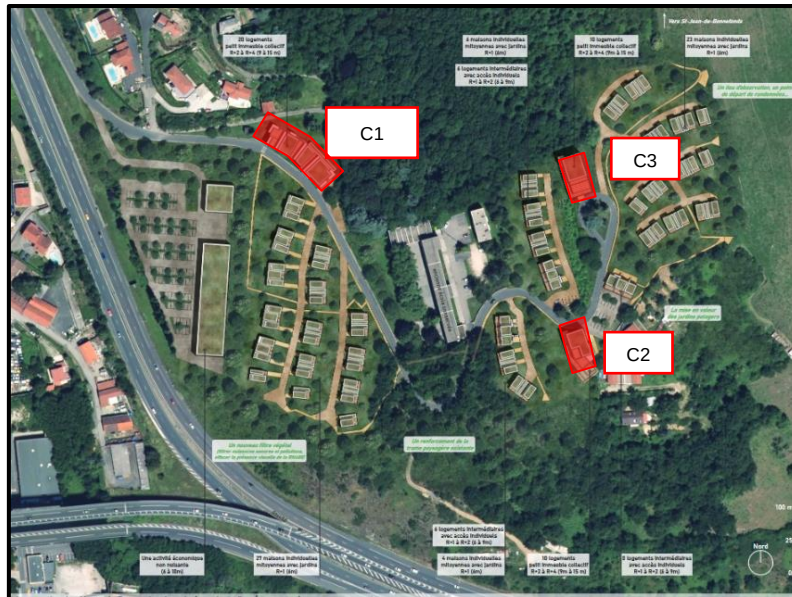


Figure 7 - Localisation des lots C1, C2 et C3.

Pour ce projet, nous faisons partie de l'équipe de maîtrise d'œuvre avec Le Toit Forézien qui est maître d'ouvrage et mandataire principal de l'opération. Les intervenants sont :

Maîtrise d'ouvrage	Le Toit Forézien	
Maîtrise d'œuvre	Architecte	MATHAIS
Bureaux d'études techniques	BET Fluides CFO CFA	INGENIUM
	BET Structure	IC42
	Economiste	CM
Bureau de contrôle	SOCOTEC	

Les trois lot C1, C2 et C3 représente en tout, une surface habitable de 2890 m² avec 40 logements sociaux.

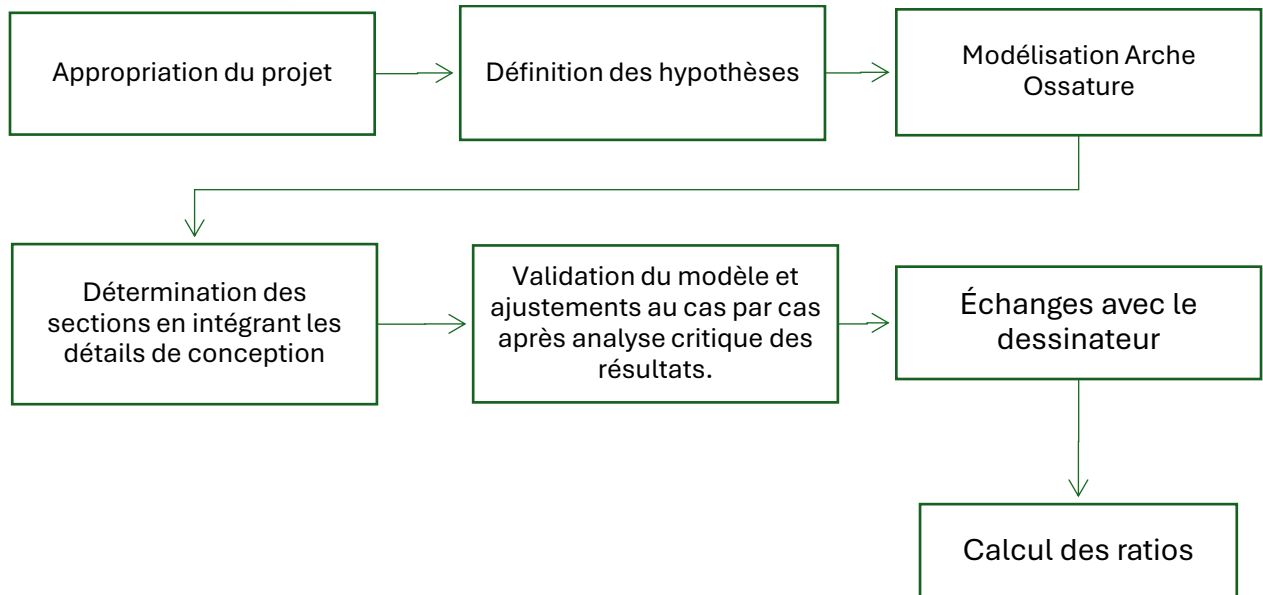
Le montant prévisionnel des travaux, évalué en phase AVP, s'élève à 7,4 millions d'euros. Le début de l'exécution est prévu pour 2025.

Le concept constructif innovant proposé par la maîtrise d'œuvre comprend une façade porteuse en béton de bois, associée à des murs de refends en béton armé et à des poteaux-poutres intérieurs.

I. Développement du PFE

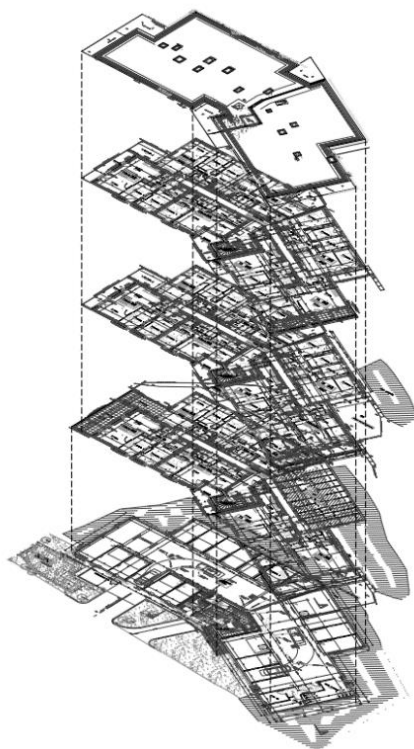
Cette opération a été ma première mission en phase PRO-DCE (Dossier de consultation des entreprises). Cette mission m'a permis de voir toutes les étapes de la constitution de ce type de dossier, ainsi que tous les échanges qu'il implique. J'ai également pu calculer et étudier l'ensemble d'une structure.

L'ensemble de mon travail a plus ou moins suivi les étapes suivantes :



1. Appropriation du projet

L'architecte nous a fourni des plans plus précis de l'ensemble des étages des trois lots, ce qui nous a permis d'entrer davantage dans le détail du projet. Ces plans tiennent déjà compte des réservations pour les fluides dans les dalles et poutres, ainsi que des détails d'isolation thermique. Cette compilation nous a également permis de valider notre conception structurale de façon plus précise.



LOT C1

20 Logements	1505 m ² habitables
Aménagement	
Caves	20 Places Parking couvert
Local vélo	Local poubelle
Circulation et parties communes	Ascenseur et escalier
Particularités	
Terrain en pente vers le Nord-est et partiellement enterrée	



Figure 8 - C1

LOT C2

10 Logements	672 m ² habitables
Aménagement	
Caves	10 Places Parking
Circulation et parties communes	Local poubelle
Local vélo	Terrasse pour tous les logements
Particularités	
Balcons en porte à faux	

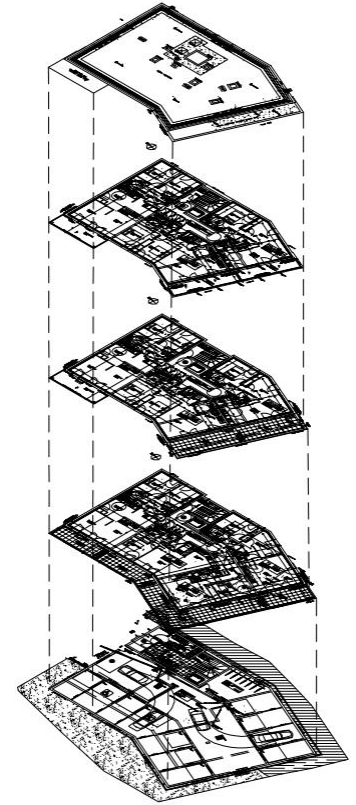


Figure 9 - C2

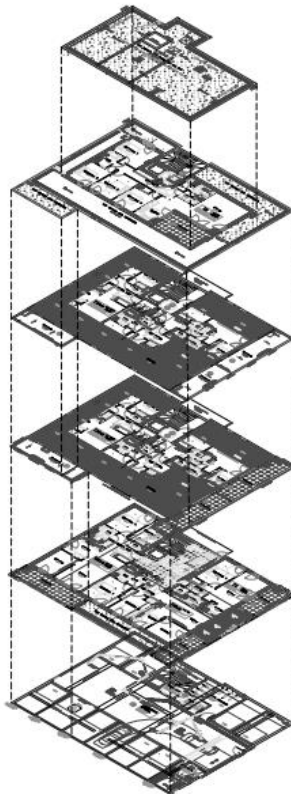


Figure 10 - C3

LOT C3

10 Logements	710 m ² habitables
Aménagement	
Caves	10 Places Parking
Local vélo	Local poubelle
Circulation et parties communes	
Particularités	
Aléa minier et attique en béton de bois	



2. Hypothèses de projet

a. Hypothèses générales

Les hypothèses générales pour la conception des trois bâtiments sont les suivantes :

Mode constructif	Façade porteuse en Béton de bois.
Douche	À l'italienne avec un décaissement de 7 cm dans les salles de bain (dont 6 cm dans la dalle en béton), et carrelage dans les SDB.
Volets roulants	Avec coffre à l'intérieur pour toutes les ouvertures.
Toiture	Végétalisée avec rétention d'eau de 5 cm à prévoir pour le bâtiment C3.

Les hypothèses générales Eurocodes :

Catégorie de durée d'utilisation – NF EN 1990	4 – 50 années (Structures de bâtiments)
Classe structurale NF EN 1992	S4
Catégorie d'usage NF EN 1990	A
Catégorie usage spécifique toitures NF EN 1990	H
Catégorie d'importance – NF EN 1998	II
Zone sismique – NF EN 1998	2 - faible

b. Actions

Charges permanentes

La charge permanente associée aux éléments de la structure est le poids volumique des matériaux mis en œuvre.

Nature d'élément	Charge d'exploitation
Béton armé	2500 kg/m ³
Béton de bois	800 kg/m ³
Dalles sur plots	200 kg/m ²
Reserve de sol – Isolant, chappe et sol PVC ou carrelage	250 kg/m ²
Caves – cloison lourde brique 10cm	300 kg/m ²

Les voiles ont été modélisé à 1 200 kg/m³ pour prendre en compte l'enduit, le mortier, les chainages et les éventuels bardages.

Charges d'exploitation

Les charges d'exploitation définies par la norme NF EN 1991-1-1 ont été prises en compte. Le tableau ci-dessus résume tous les cas de chargement présents dans le projet.

Nature du local	Charge d'exploitation (daN/m ²)
Catégorie H – Toiture terrasse inaccessible	100 kg/m ²
Catégorie H – Toiture terrasse avec rétention d'eau de 5 cm	150 kg/m ²
Catégorie A – Logements	150 kg/m ²
Catégorie A – Plancher balcon	350 kg/m ²
Catégorie A – Escalier	250 kg/m ²
Circulation et garages	250 kg/m ²
Plancher terrasse	250 kg/m ²

Actions climatiques

Les trois bâtiments sont à Saint- Etienne. Les hypothèses suivantes sont à considérer :

Vent	Neige	Séisme
La construction est située en Zone 2. En application de la norme NF EN 1991-1-4.	La construction est située en zone A2. En application de la norme NF EN 1991-1-3	Le site est localisé en zone 2 de sismicité « faible ». Le bâtiment est de catégorie d'importance II.
La vitesse de référence de vent associée à la zone est $v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$	La charge de neige de calcul associée à la zone est $S_{k,0} = 0,45 \text{ kN/m}^2$, et $S_k = S_{k,0} + \Delta S = 0,8 \text{ kN/m}^2$	Pas de calcul au séisme

c. Feu

Nous avons un bâtiment à usage d'habitation de hauteur $8 < H < 28$ mètres. Il comporte trois étages et est classé en troisième famille. Avec ses caractéristiques et en l'absence d'une notice de sécurité incendie, nous avons employé une stabilité au feu de la superstructure de 60 minutes (REI 60).

d. Géotechniques**➤ Contexte minier**

Extrait du plan de prévention des risques miniers de la ville de Saint-Etienne – Pièce n°4 – 6 – Carte du zonage PPRM – Zoom F – Janvier 2018 :

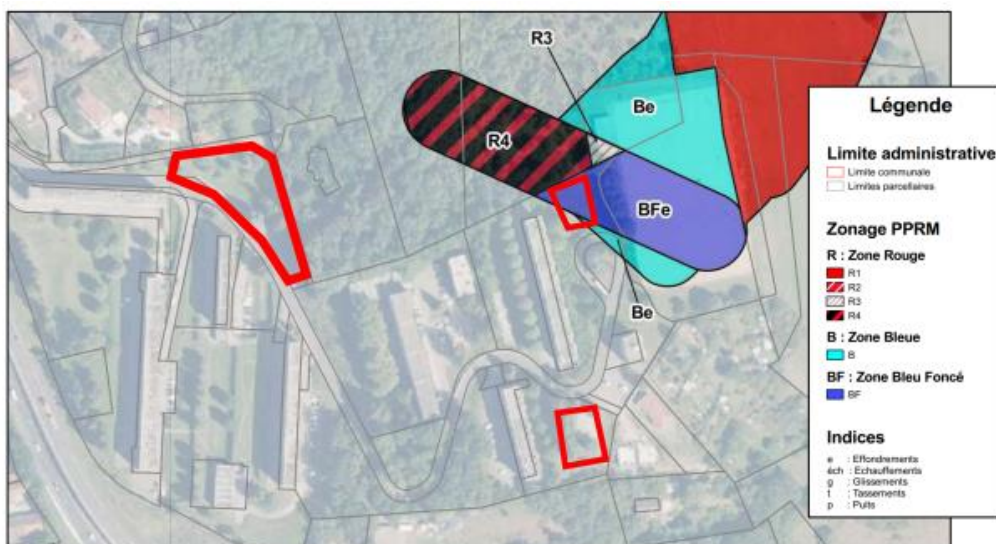


Figure 11 - Extrait du plan de prévention des risques miniers de la ville de Saint-Etienne – Pièce n°4 – 6 – Carte du zonage PPRM – Zoom F – Janvier 2018

Les lots C1 et C2 ne se situent pas en zone de risques miniers.

Le bâtiment C3 est concerné par un aléa minier, comme l'indique l'extrait du PPRM :

Zonage PPMR sous le lot C3 :

- Zone BFe : Bleu foncé - Effondrement
- Zone Be : Bleue - Effondrement

Une analyse des plans archives a été faite et montrent la présence de la fendue des rochettes au Nord-est de la parcelle à moins de 30m de profondeur. Un sondage profond mené par Celigeo, à révèle effectivement une couche des rochettes non exploitée.

Les plans ont révélé aussi la possibilité d'avoir une galerie au Nord-Est du lot C3 à une profondeur supérieure à 50m.

Dans ce contexte, il revient au géotechnicien de conclure et de déterminer les dispositions techniques. Pour être en conformité avec le PPRM, les mesures de sécurité du guide des dispositions constructives pour les zones d'aléa de type fontis du CSTB ont été appliquées. Les solutions employées sont :

- **Fondations** : Semelles filantes rigides, appuis ponctuels reliés par des longrines de contreventement, et désolidarisation du rocher par une polyane en fond de fouille.
- **Dallages** : Réalisés en dallage classique sur terre-plein, avec une couche de forme sur géogridle rigide extrudée (résistance minimale à la traction de 40 kN).

➤ Fondations

	Lot C1	Lot C2	Lot C3
Type de fondations	Superficielles		Superficielles avec dispositions PPMR
Bon sol	Formation 5 - Altération schisteuse argilo sableuse à sablo-argileuse marron-gris à cailloux et blocs		
Contrainte ELS	3,0 bars	3,5 bars	
Toit du bon sol	536.35m NGF à 534.2m NGF	564.30m NGF à 560.8m NGF	568.50m NGF à 566.20m NGF
Assise des fondations	533,5m NGF	562.47m NGF	568.50m NGF à 567.80m NGF
Hauteur moyenne de gros béton	10 cm de béton de propreté	1,2 m	0,9 m

➤ Mitoyens

Le lot C1 est bordé par la voie de desserte au sud et à l'est, une maison individuelle au nord, et un parc à l'ouest. Le lot C2 est bordé par la voie de desserte au nord, des maisons individuelles à l'est, et une barre d'immeuble vouée à être démolie à l'ouest. Le lot C3 est bordé par la voie de desserte au sud, un terrain de sport à l'est, et une barre d'immeuble vouée à être démolie à l'ouest.

Le rapport géotechnique prévoit une pente de déblais de 1H/1V en phase provisoire et de 3H/2V en phase définitive pour les fondations sur la formation 5. Les bâtiments seront construits en retrait par rapport à la limite parcellaire, donc aucune précaution pour les fondations mitoyennes n'est nécessaire.

II. Validation du principe constructive - Béton de Bois.

Le béton de bois est un matériau composite que combine les granulats de bois et le ciment pour produire des panneaux de préfabriquées de voiles et dalles. Fruit de 15 ans des recherches et développement ce matériau à réussie à attendre son but de substituer intégralement les granulats inertes par des déchets de bois.

Pour ce projet nous avons employé le principe constructif CS2, qui s'agit des murs porteurs préfabriques en béton de bois – TimberRoc avec clavetage en béton par des chainages dimensionnés selon la zone sismique.

Les configurations de bâtiments possibles avec ces panneaux, exploitées dans le cadre de ce projet sont :



Figure 12 - Configurations des bâtiments en béton de bois.
Extrait ATEX CS2

Les caractéristiques techniques de ce matériau exploitée dans le contexte de ce projet sont les suivantes :

PARAMETRE	VALEUR	UNITE	DEFINITION
f_m	4,00	MPa	Résistance moyenne à la compression
f_k	3,00	MPa	Résistance caractéristique à la compression
γ_m ELU	2,2		Coefficient partiel de sécurité ELU
f_d ELU	1,36	MPa	Valeur de calcul ELU pour la résistance à la compression
F_{lim} centrée	236	kN/ml	Charge admissible (ELU) – charge centrée
F_{lim} excentrée	164	kN/ml	Charge admissible (ELU) – charge excentrée
σ_{ELS}	0,8	MPa	Contrainte de compression (ELS quasi-permanent)
F_{lim} au feu	220	kN/ml	Charge admissible de résistance au feu.
ρ	800	kg/m ³	Masse volumique du béton de bois
E	2000	MPa	Module d'élasticité

Le facteur dimensionnant a été la charge admissible ELU =164kN/ml pour un chargement excentré.

Pour respecter la contrainte de 1,36MPa des sommiers en béton ont été calculés au droit des poutres, lorsque la contrainte appliquée dépasse la limite.

L'ATEX prévoit le clavetage des structures en fonction de la classification sismique. Pour ce projet, nous sommes en zone II, catégorie II, donc pas de dispositions sismiques, ce que nous qualifie en « configuration A ».

Dans ce cas, la disposition des chainages des principes est la suivante :

- Dispositions de principe des chaînages pour la configuration A, zones sismiques 1 et 2 – hors analyse de structure :



Figure A27

Figure 13 - Disposition de principe des chaînages pour la configuration A zones sismique 1 et 2. Extrait ATEx CS2.

Ces chainages n'ont pas de fonction structurelle, et de zones de forte concentration des contraintes peuvent être traités avec des éléments en béton noyés dans les panneaux, comme montre la photo extrait de l'ATEx.

Figures A 36-B : Ouvertures avec poteaux porteurs de part et d'autre

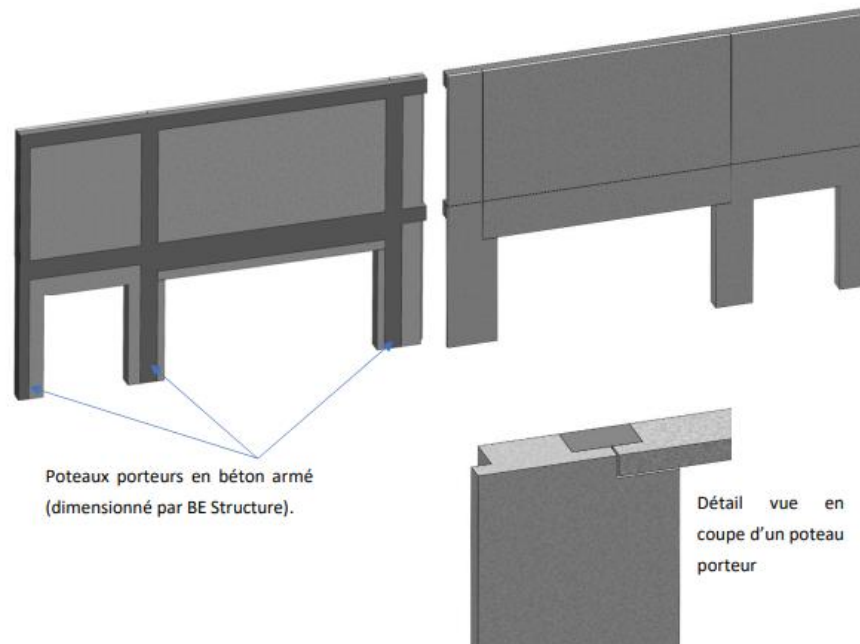


Figure 14 - Principe des poteaux noyées dans les façades en béton de bois Extrait ATEx CS2.

L'implication du béton de bois a aussi définie d'autres éléments de la structure comme :

ELEMENT	HYPOTHESE / CHOIX DE COMPOSITION	OBSERVATIONS
DALLES	Béton, appui minimale de 2/3 d'épaisseur du mur soit 16cm – Nous sommes à 19	Avec une planelle intégrée de 5cm
LINTEAU	En retombé de chainage	Avec les grandes ouvertures et les volets roulants prévus, nous avons conservé toute la surface pour le renforcement et prévu des linteaux en dessous des chaînages.
ACROTÈRES	Nous sommes parties en béton	L'acrotère en béton de bois limite les formes de fixation de garde-corps
TRUMEAUX	Si $e < 60$ cm ils ont été fait en béton	La charge admissible ELU a aussi dimensionnée les trumeaux
POTEAU NOYEE	Comme des raidisseurs au droit des ouvertures	Pour permettre la bonne diffusion des charges aux voiles de façades
SOMMIER	Au droit des poutres lorsque la contrainte dépassé 1,36MPa	Pour diffuser la charge concentrée des poutres
CHAINAGE EN PIED DE VOILE	Comme une poutre noyée	Pour reprendre un voile en béton de bois dans une dalle en porte-à-faux.

III. Modélisation et dimensionnement des éléments structuraux.

Dans ce chapitre, je vais résumer la méthode que j'ai utilisée pour chaque élément de la structure. Le détail est fourni dans un étage courant du lot C2.



a. Dalles

Condition à valider : Des dalles d'épaisseur 22 cm avec un décaissé de 6 cm sur l'emprise des salles de bain.

Méthode de travail : Pour cela, j'ai utilisé un plan de la structure porteuse du bâtiment, pré établi lors de la phase APS, indiquant les arases des dalles, le sens de portée et les charges prévues. À partir de ce plan, j'ai pu définir les différents types de dalles à étudier et les modéliser.

Modélisation : La modélisation de chaque type de dalle a été réalisée sur Arche Poutre, où j'ai modélisé une bande d'un mètre de dalle comme illustré dans l'exemple suivant.

Détermination des ratios : En parallèle, j'ai pu définir les treillis soudés à mettre en place et, par conséquent, les ratios de TS. Les points durs ont été vérifiés sur arche plaque.

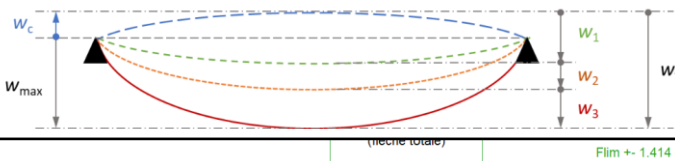
Figure 15 - Détail dimensionnement des dalles

Facteur dimensionnant : Pour les dalles, le facteur dimensionnant est la flèche, qui est ici limitée à $L/500$ selon les applications professionnelles du fait des éléments fragiles comme les cloisons et le carrelage. On s'aperçoit que dans la première travée la flèche est proche de la limite ce qu'est cohérent vis-à-vis de la portée.

Flèche totale : Calcul de flèche total due aux charges appliquées, en instantanée et différée.

Flèche à déduire : Flèche instantané due au poids propre avant mise des éléments fragiles.

Fig. 1 Définitions des flèches verticales – NF EN 1990 (Figure A1.1)



	Poutre T 2.2	Poutre T 2.3
Flèche en inertie non-fissurée	0.101 cm	-0.734 cm
Flèche en inertie fissurée	0.435 cm	-1.430 cm
Flèche totale	0.101 cm	-0.734 cm
Flim	+ 0.386 cm	+ 1.060 cm

Application des règles professionnelles (flèche nuisible)

Flèche totale -1.603 cm
Flèche à déduire -0.368 cm
Flèche nuisible -1.235 cm
Flim + -1.374 cm

$$\text{Flim} = L/500$$

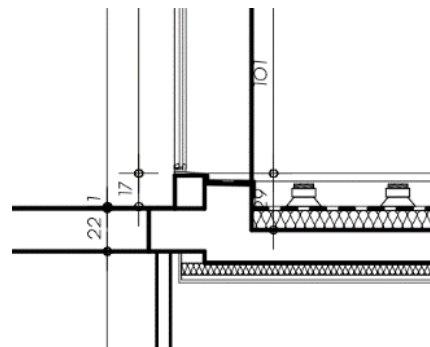
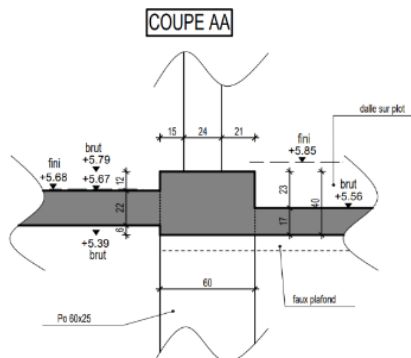
b. Poutres, Bande noyées et linteaux

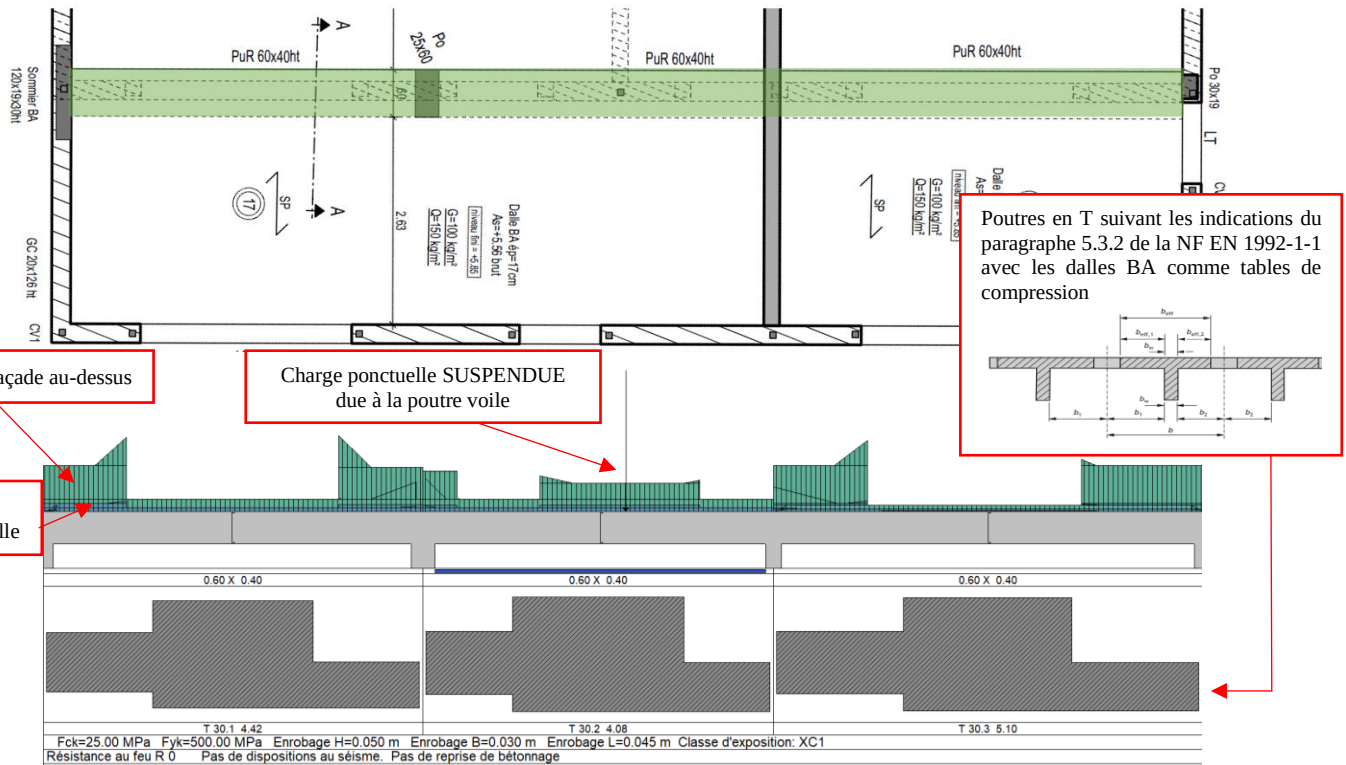
Condition à valider : Le prédimensionnement de ces éléments a été effectué en phase AVP. Dans cette phase, j'ai intégré les contraintes du projet, telles que les réservations, les volets roulants et les différentes arases des dalles, dont la position des tables de compression.

Méthode de travail : dans chaque trame de poutres, j'ai vérifié les détails du plan architecte en identifiant les contraintes et j'ai modélisé en fonction.

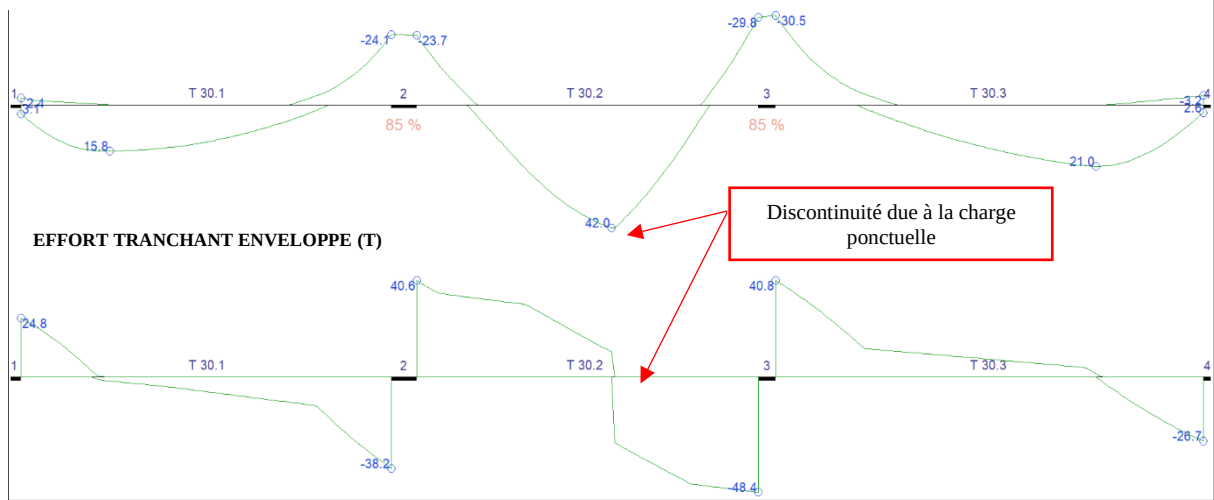
Modélisation : pour les dimensionner, j'ai exporté les données de la modélisation Arche Ossature avec la descente des charges vers Arche Poutre. J'ai pris en compte les charges réelles en fonction des continuités des dalles et je les ai vérifiées en intégrant le bon niveau de la table de compression, les réservations et les décaissements. Quand il a été nécessaire d'augmenter les sections, cela a été fait en respectant les propositions architecturales.

Facteur dimensionnant : Pour les poutres on a plusieurs facteurs qui peuvent être dimensionnant comme la flèche, la contrainte de compression dans le béton, la contrainte de traction des armatures, la contrainte aux appuis et les contraintes géométriques. Dans ce cas le facteur dimensionnant a été la flèche, et la hauteur sous plafond à respecter, dont les 60cm de large pour éviter une retombée.



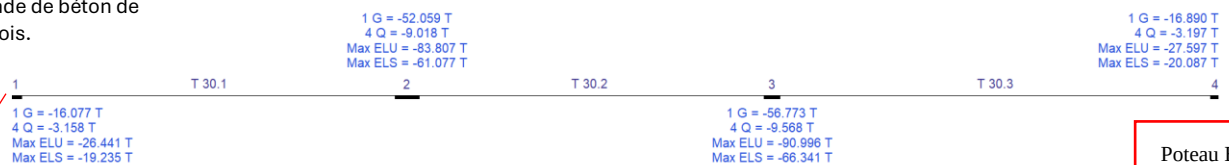


MOMENT FLECHISSANT ENVELOPPE (Tm)



REACTIONS D'APPUIS (T)

Appui en façade de béton de bois.

Appui en partie dans façade de béton de bois
et en partie dans le linteau

Poteau BA

$$\sigma_{ELU} = \frac{26,44t}{0,19 \times 0,24} = 5,8 \text{ MPa} > 1,36 \text{ MPa} \rightarrow \text{Sommier BA}$$

$$\sigma_{lim} = 1,36 \text{ MPa} = \frac{26,44}{\text{Section}} \rightarrow S_{mini} = 0,194 \text{ m}^2$$

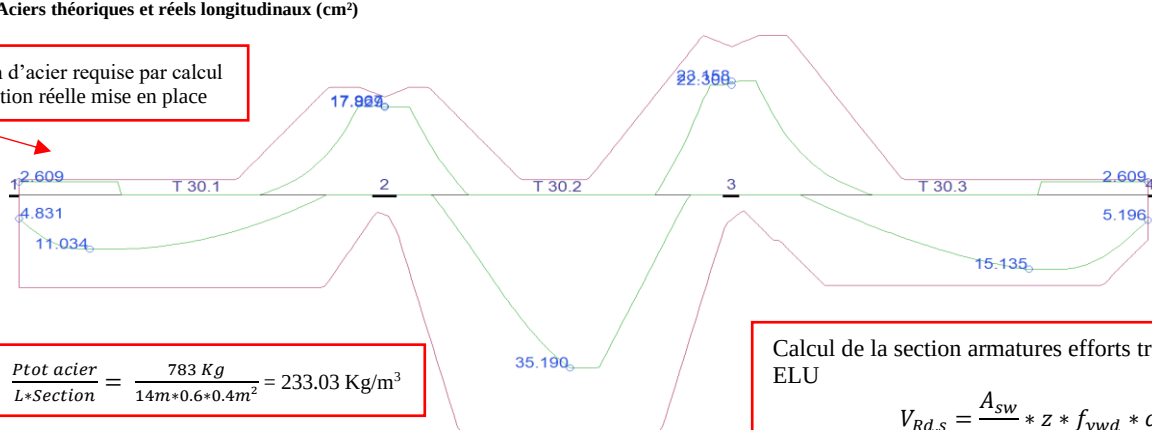
$$B_{mini} = \frac{0,194}{0,19} = 1,02 \text{ m}$$

Figure 16 - Détail dimensionnement de la poutre

Détermination des ratios : En parallèle, j'ai pu définir les aciers à mettre en place et, par conséquent, les ratios.

Aciers théoriques et réels longitudinaux (cm²)

En vert section d'acier requise par calcul
En rouge section réelle mise en place



$$Ratios = \frac{P_{tot\ acier}}{L \cdot Section} = \frac{783\ Kg}{14m \cdot 0.6 \cdot 0.4m^2} = 233.03\ Kg/m^3$$

Calcul de la section armatures efforts tranchants d'acier ELU

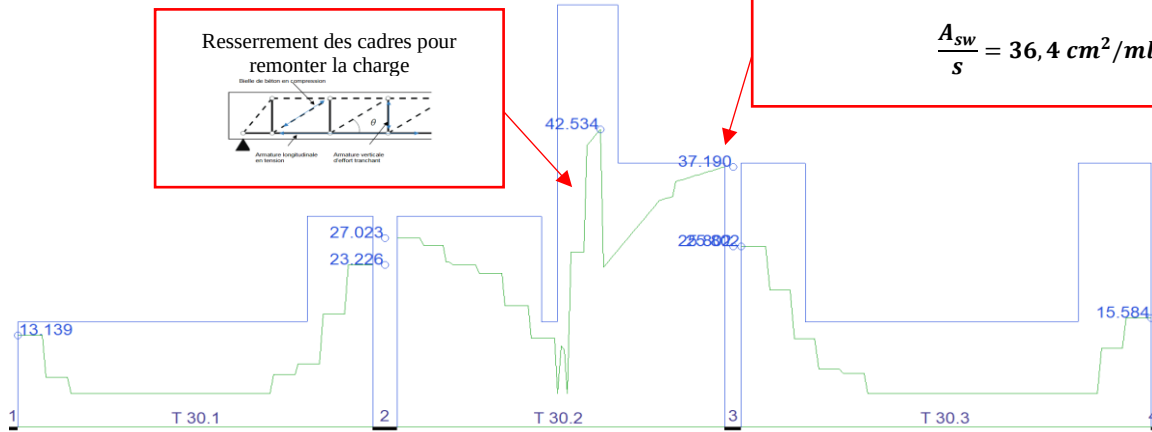
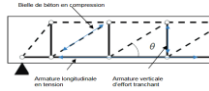
$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} * z * f_{ywd} * cot\theta$$

$$48,4 = \frac{A_{sw}}{s} * 0.9 * 0.34 * 43500 * cot45^\circ$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = 36,4\ cm^2/ml$$

Aciers théoriques et réels transversaux (cm²/ml)

Resserrement des cadres pour remonter la charge



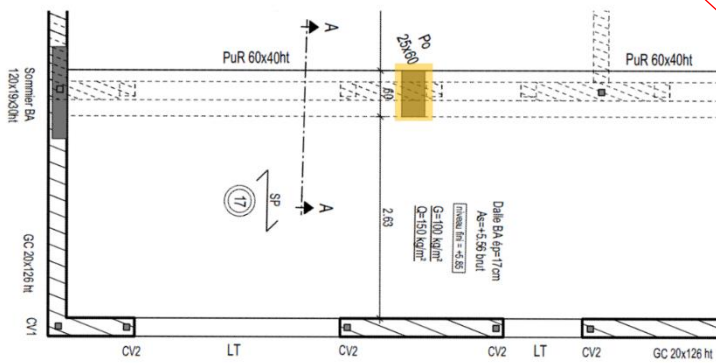
c. Poteaux

Condition à valider : Comme pour les poutres le prédimensionnement des poteaux a été fait en phase AVP. J'ai vérifié les contraintes liées aux besoins architecturaux et les solutions à apporter.

Méthode de travail et modélisation : Lors de la phase AVP, nous avons proposé nos trames de poteaux-poutres. L'architecte a intégré nos besoins en fonction de son aménagement et nous a indiqué ses impératifs. J'ai ajusté le positionnement des poteaux selon les plans actualisés de l'architecte dans le modèle de calcul, en tenant compte des dimensions de projet. Après cela, j'ai exporté les poteaux d'Arche Ossature vers Arche Poteau et j'ai vérifié la distribution des aciers ainsi que l'élancement des poteaux. En cas de poteaux mal dimensionnés, j'ai essayé de modifier la distribution des charges et, si nécessaire, j'ai utilisé un béton de meilleure qualité.

Facteur dimensionnant : L'effort normal, la section d'acier maximale, et le flambement.

Le poteau est considéré
rotulé aux appuis
 $L_{famb} = L$



Hypothèses saisies dans le logiciel

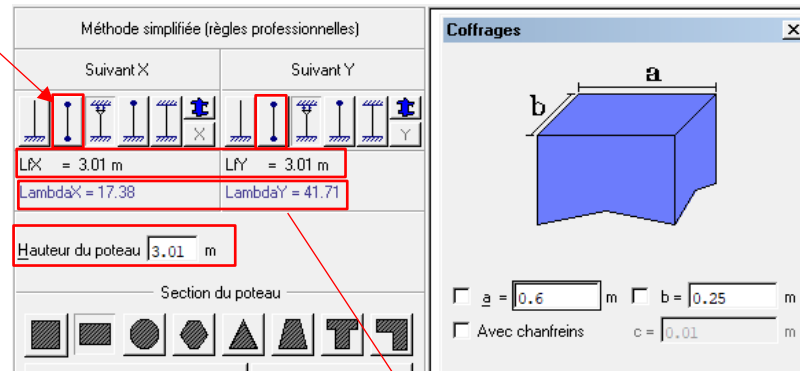


Figure 17 - Détail dimensionnement poteau

$N_{zMax} = 68.061$
 $A_{min} = 3.0 \text{ cm}^2$ $A = 3.0 \text{ cm}^2$ $A_{max} = 60.0 \text{ cm}^2$

$A_{s,min} = 0.002 \cdot A_c$

$A_{s,max} = 0.04 \cdot A_c$

Effets de second ordre.

$$\lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{\frac{N_{Ed}}{A_c \cdot f_{cd}}}} = \frac{20 \cdot 0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{\frac{68.06}{0.25 \cdot 0.6 \cdot 25}}} = 25.30$$

λ_x et $\lambda_y > \lambda$

Les effets de second ordre ne peuvent pas être négligés. La vérification est donc faite à l'état déformée. La méthode de calcul employée est la méthode simplifiée.

d. Voile

Trois types de voiles sont identifiés : les voiles M_i , qui sont des murs de refend en béton classiques, les voiles M_s , qui sont des voiles enterrées ou partiellement enterrées et ténues en tête par les planchers, et les façades en béton de bois.

Sur ce projet, nous n'avons pas eu de murs de soutènement ; les éventuels soutènements sont prévus sous forme de murs gabions.

➤ Façade porteuse Béton de Bois

La validation des voiles de façade a été effectuée à partir de l'étude du béton de bois, et les contraintes à respecter sont présentées dans le chapitre II.

➤ Voiles en béton armée M_i et M_s :

Condition à valider : Dans le contexte des voiles d'un bâtiment R+3 la contrainte appliquée en tête de voile est très peu suivant dimensionnante vis-à-vis des aciers. La validation a été donc au niveau de l'épaisseur et de la disposition.

Méthode de travail et modélisation : Pour déterminer les armatures à mettre en place, il a fallu d'abord classer les voiles en armée et non armée suivant l'EC2 en fonction des sollicitations.

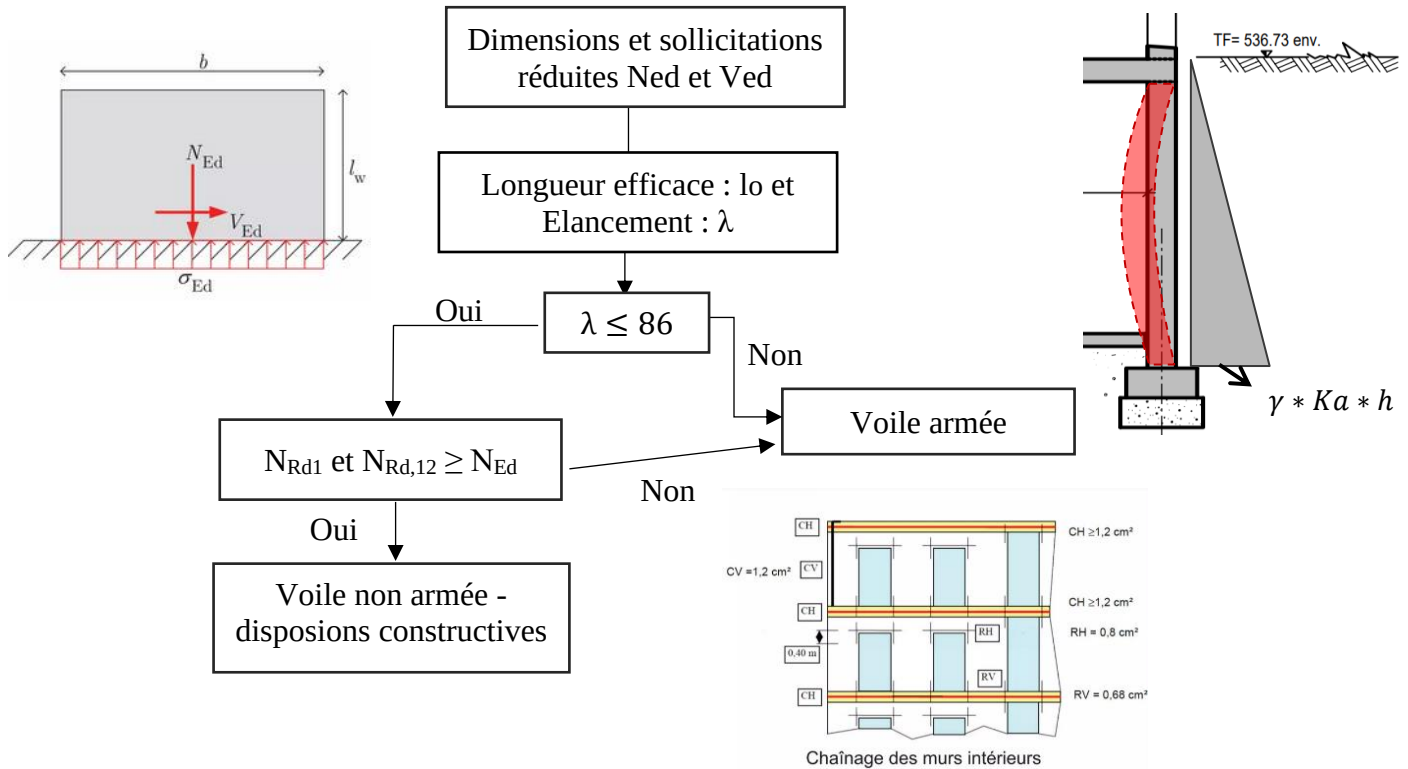


Figure 18 - Détail voiles

D'où le NR_{d1} est la résistance de calcul en compression aux forces axiales et aux moments, et $NR_{d,12}$ est dû à la déformation structurale (flambement). Les voiles de refend de ce projet sont peu sollicités étant donné leur configuration structurale (les voiles ne sont pas orientés dans le sens porteur des dalles).

Les voiles de refend sont donc des voiles non armés. Les voiles partiellement enterrés ont été calculés comme des voiles armés.

Les voiles MI ont été armés avec un panneau PAF10 sur chaque face, ce qui représente une section de $1,19 \text{ cm}^2/\text{m}$ par face. En plus des chainages CH et CV, comme prévu dans NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

Les voiles Ms ont été calculés comme une poutre sur deux appuis, avec le chargement de la terre et en déconsidérant le poids propre. L'armature mise en place est celle requise en calcul.

e. Poutres voiles.

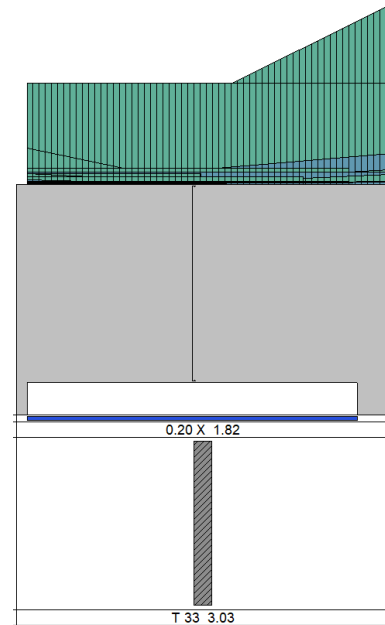
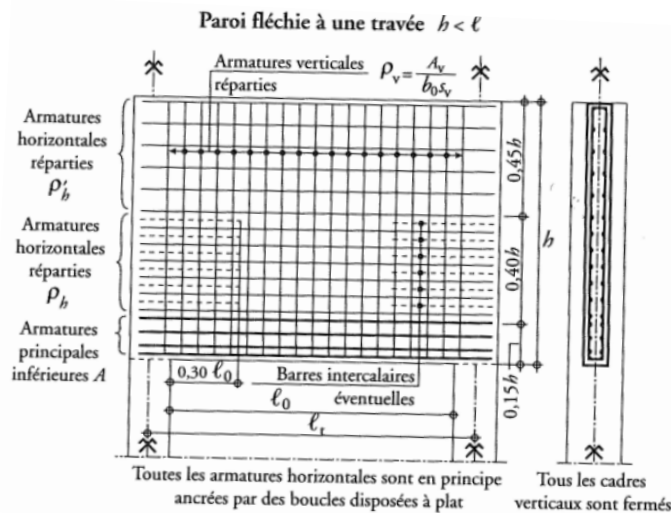
Dans les trois bâtiments, les cas courants de poutres voiles concernaient les murs de refend que se situaient au milieu de l'entrée ou d'une pièce. La solution adoptée dans ce cas a été de considérer le voile comme une poutre voile.

Modélisation : Pour les dimensionner, j'ai modélisé une poutre en pied de voile sur Arche Ossature et je l'ai exporté les données de la modélisation vers Arche Poutre, ce qui m'a permis d'avoir la bonne descente de charges.

Ensuite, j'ai modélisé la poutre avec 0,7 m de hauteur, comme considéré dans les Eurocodes, pour obtenir la représentation de la paroi fléchie.

La transmission des efforts dans les poutres voiles doit être étudiée avec le modèle bielles-tirant en raison de son rapport longueur et hauteur. Cette diffusion des efforts rappelle le système de voûte que crée une traction en partie basse du voile.

Avec cette modélisation j'ai pu avoir la section théorique du tirant longitudinaux et les armatures horizontales à mettre en place.



Les poutres-voiles sont armées par des treillis soudés sur les deux faces et par un montage inférieur (le tirant) et un montage supérieur. Les sections mises en place ont été supérieures à celles de calcul.

f. Acrotères :

Les dispositions concernant les acrotères des murs CS2 sont détaillées dans l'ATEX. Dans notre cas, il n'y a que des acrotères hauts ($h > 30$ cm au-dessus de l'étanchéité).

En phase PRO, mon choix technique a été de prévoir des acrotères en béton. Cela permet d'avoir plus de flexibilité dans le choix des garde-corps en phase exécution, contrairement aux acrotères en béton de bois qui limitent les options de fixation.

Des joints de fractionnement ont été prévus tous les 6 mètres, comme le préconise le DTU 20.12. Les acrotères ont été armés avec 0,25 %*Section et 0,50 %*Section au droit des joints de fractionnement.

g. Fondations :

Le dimensionnement des fondations est établi à partir de la descente de charges obtenue lors de la modélisation du bâtiment et des hypothèses géotechniques présentées dans le paragraphe 2d.

Les hypothèses entrées dans le logiciel sont les suivantes :

Capacité portante du sol (à l'ELS) : $q_{net} = q_{sol} * \gamma_{R,v} * \gamma_{R,d,v}$

Avec :

$\gamma_{R,v} = 2,3$ à l'ELS

$\gamma_{R,d,v} = 1,2$

$q_{solELS} = 0,3 \text{ MPa}$ pour le C1 et $0,35 \text{ MPa}$ pour le C2 et C3

➤ Semelles filantes et semelles isolées.

Les trois bâtiments prévoient des fondations superficielles, sans risques exceptionnels, à l'exception du lot C3 qui a été dimensionné avec des dispositions constructives liées aux risques miniers. En termes de conception, aucune disposition particulière n'a été prise, vu qu'on n'a pas de contraintes liées aux limites de propriété ou à l'existant. Les semelles ont donc pu être toujours centrées par rapport aux voiles et aux poteaux.

Le dimensionnement a été réalisé de manière à assurer que la contrainte exercée sur le sol par la fondation reste inférieure à la contrainte admissible du sol.

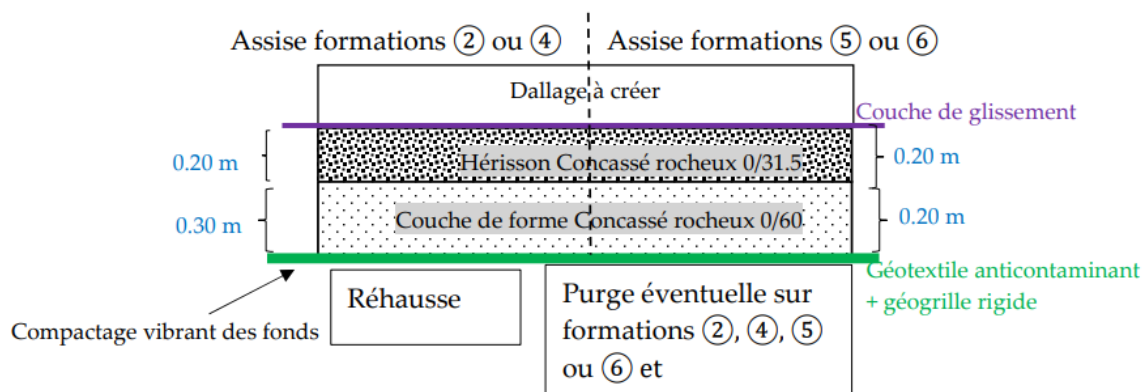
Si la semelle est filante, de $q_{sol} = \frac{N_u}{l * a'}$ on déduit que $a' = \frac{N_u}{q_{sol}}$

Si la semelle est isolée est rectangulaire $a' \times b'$ et reprend un poteau $a \times b$, on écrit $q_{sol} = \frac{N_u}{a' * b'}$ on déduit que $a/a' = b/b'$

La descente de charge a également été obtenue à partir d'Arche Ossature. La modélisation a été réalisée sur Arche semelle et le ferrailage a été calculé selon les méthodes de flexion ou des bielles.

➤ Dallage sur terre-plein

Les plancher bas ont été traités comme des dallages sur terre-plein désolidarisé sous couche de forme préconisée par le géotechnicien.



Les dallages sont régis par le NF DTU 13.3. Le dimensionnement se fait en fonction de l'usage des locaux suite classification donnée §5.5.1 du DTU 13.3 P1-1-1 :

Usage des locaux	Épaisseur (mm)
Tout local industriel tel qu'usine, atelier, entrepôt, stockage, etc., quelles que soient ses charges d'exploitation	150
Local, quelle que soit sa destination, s'il est soumis à une charge d'exploitation répartie supérieure à 10 kN/m ² ou concentrée supérieure à 10 kN	150
Local commercial ou assimilé, tel que magasin boutique, hall, réserve, chambre froide, soumis à des charges d'exploitation réparties, inférieures ou égales à 10 kN/m ² et concentrées, inférieures ou égales à 10 kN	130
Local soumis à des charges d'exploitation inférieures ou égales à 10 kN/m ² et/ou 10 kN concentrées et dont l'usage est le suivant : • Habitation collective ou d'hébergement • Administratif ou bureau, santé, hôpital, clinique ou dispensaire • Scolaire ou universitaire • Sportif • Spectacles, expositions ou lieux de culte • Garages ou parcs de stationnement pour véhicules légers • Agricole	130

Tableau 1 Épaisseur nominale minimale de dallage*Figure 19 - Dallages sur terre-plein*

Les dallages sont prévus en épaisseur = 13 cm, non armée, avec une nappe de TS pour maîtriser la fissuration. Comme prévu par le DTU 13.3, des joints sciés tous les 25 m² sont prévus.

Un dallage renforcé de 15 cm a été prévu au droit de la fosse d'ascenseur sur une bande de 2 m.

IV. Retour D'expérience

Pendant toute la période de formation en entreprise chez IC42, j'ai eu l'opportunité de travailler sur de nombreux projets intéressants. Même avec mon manque d'expérience, l'entreprise m'a confié divers projets à différentes phases, ce qui a sans aucun doute contribué de manière significative à mon développement professionnel.

Aujourd'hui, je me sens plus confiante dans la gestion de projets, même si cela n'a pas toujours été le cas. J'ai appris que le processus est aussi important que le résultat final. L'apprentissage de ce métier va bien au-delà de la maîtrise des calculs et de la compréhension des structures. Chez IC42, j'ai eu l'occasion d'interagir directement avec d'autres parties prenantes des projets, de participer à des réunions, de visiter des chantiers, de gérer le travail des dessinateurs et, parfois, de prendre des décisions rapides pour résoudre des problèmes. Toutes ces expériences sont ce qui me passionne dans ce métier.

J'ai perfectionné des compétences essentielles, comme l'organisation, qui s'est montrée cruciale, surtout lorsque j'ai commencé à gérer mes propres projets. J'ai également pu compter sur les précieux conseils et le suivi d'ingénieurs et de dessinateurs plus expérimentés, pour lesquels je suis profondément reconnaissante.

J'ai également eu l'opportunité d'apprendre à me servir et à améliorer l'utilisation de logiciels tels que GRAITEC ARCHE, ADVANCE, AutoCAD et Excel. J'ai également produit plusieurs notes de calcul, ce qui m'a permis de prendre le temps de rechercher et de comprendre des concepts théoriques fondamentaux pour ma profession.

En plus de tous les aspects techniques et professionnels, être étrangère en France et être en contact actif avec ma profession dans une autre culture a été une expérience très enrichissante. Apprendre les codes culturels, comprendre le fonctionnement des choses, et tester ma flexibilité permanente ont été des défis qui m'ont fait grandir tant professionnellement que personnellement. Je suis reconnaissante envers la structure d'accueil qui m'a permis de vivre tout cela, en me soutenant et en me donnant la confiance nécessaire pour m'adapter et relever ces défis.

En conclusion, ce fut une expérience extrêmement enrichissante. En peu de temps, j'ai été en contact avec divers projets et situations pertinents pour la profession. J'ai beaucoup appris et j'ai pu appliquer plusieurs concepts étudiés à l'école d'ingénieurs, toujours accompagnée par des personnes compétentes et investies. J'ai été motivée par les projets et je me suis investie au maximum pour les mener à bien.

V. Conclusion

En conclusion, mon stage au sein de l'entreprise Ingénierie Construction a été une expérience véritablement enrichissante. J'ai eu l'opportunité d'explorer différents aspects du domaine professionnel de l'ingénierie structurelle, tout en développant mes compétences et en acquérant de nouvelles connaissances.

Au cours de mon stage, j'ai travaillé sur plusieurs projets stimulants, notamment des projets en phase EXE comme la fondation des bâtiments industriels et même une réhabilitation de ferme en logements, que je n'ai pas cités dans ce rapport, des notes de calcul et des projets de dessins, et finalement la mission en phase PRO des Hauts de Terrenoire, objet de ce rapport. Ces missions m'ont permis d'appliquer et d'acquérir des connaissances théoriques et de développer des compétences dans le domaine du calcul structurel.

Grâce à mon stage, j'ai pu observer le fonctionnement d'une entreprise dynamique de près et participer activement à ses activités. J'ai également pu collaborer avec des professionnels expérimentés qui m'ont guidée et soutenue tout au long de mon stage. Leur expertise m'a permis de mieux appréhender les défis du secteur et de gagner en confiance en mes capacités.

En analysant les résultats des projets sur lesquels j'ai pu travailler, je comprends l'importance de la rigueur et de l'organisation qu'exige ce métier. Il est remarquable de constater à quel point j'ai évolué entre les projets que j'ai menés lors de mon entrée dans l'entreprise et mes derniers projets. La clarté de mes derniers projets reflétait la clarté avec laquelle je comprenais ce que je faisais.

Il reste encore un long chemin à parcourir pour monter en expérience et maîtriser parfaitement mon métier, mais cette expérience a été un bon pas vers cette voie. Le fait d'avoir travaillé avec des professionnels compétents m'a beaucoup inspirée.

En conclusion, ce stage a été une expérience formatrice qui m'a permis d'acquérir des compétences techniques et professionnelles indispensables dans le domaine du calcul structurel en béton armé. Je remercie l'entreprise IC42 et mon tuteur de stage pour cette opportunité. Je suis confiant que les connaissances et compétences acquises pendant mon stage seront des atouts précieux pour ma future carrière professionnelle.

Bibliographie

Normes

- Eurocode 0 : Bases de calculs des structures (EN 1990).
- Eurocode 1 : Actions sur les structures (EN 1991).
- Eurocode 2 : Calculs des structures en béton (EN 1992).
- Eurocode 6: Calcul des ouvrages en maçonnerie (EN 1996).
- Eurocode 7 : Calcul géotechnique (EN 1997).
- DTU 20.1 Ouvrages en maçonnerie de petits éléments – Parois et murs
- DTU 13.3 Dallages - Conception, calcul et exécution - Partie 3 : cahier des clauses techniques des dallages de maisons individuelles

Documents Technique béton de bois :

ATEX - APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION N° de référence CSTB :
3044_V1 : <https://ccbgreentech.com/upload/data/files/DOCS/3044-v1%20%281%29.pdf>

Principe constructif CS2 :

<https://ccbgreentech.com/upload/data/files/ACTIVITE/Principe%20constructif%20TimberRoc%20CS2%20-%20V2.2.pdf>

FICHE DE DECLARATION ENVIRONNEMENTALE ET SANITAIRE DU PRODUIT -
Panneau TimberRoc CS2 Epaisseur 24 cm Disponible : <https://ccbgreentech.com/66-documentation-ccb-greentech-beton-de-bois-timberroc.htm>.

Guides d'Application :

- ROUX J., « Maîtrise de l'Eurocode 2 », Editions EYROLLES, 2009
- ROUX J., « Pratique de l'Eurocode 2 », Editions EYROLLES, 2009
- Davidovici, Victor. *Formulaire Du Béton Armé - Tome 1*. Édité par Le Moniteur.
- Davidovici, Victor. *Formulaire Du Béton Armé - Tome 2*. Édité par Le Moniteur.

Sites internet :

GULLYWEB. Documentation CCB Greentech - Solutions constructives murs - Planchers - Béton de Bois - TimberRoc. Disponible en: <<https://ccbgreentech.com/66-documentation-ccb-greentech-beton-de-bois-timberroc.htm>>.

Calcul des voiles en BA selon l'EC2. (2022). SlideShare; Slideshare.
<https://fr.slideshare.net/nguyenmlan/calcul-des-voiles-en-ba-selon-lec2#1>

Liste des figures

Figure 1 - Chiffre d'affaires Ingénierie Construction depuis trois ans	5
Figure 2 - Localisation Ingénierie Construction Saint Etienne (42)	5
Figure 3 - Objectifs de Développement Durable (ODD)	6
Figure 4 - Réhabilitation des bâtiments 3 et 4 École d'ingénieur Sigma.....	7
Figure 5 - Construction ateliers de formation lycée Henri Sainte-Claire Deville Issoire (63)...	7
Figure 6 - Restructuration Lycée Honoré d'Urfé Saint-Etienne (42).....	7
Figure 7 - Localisation des lots C1, C2 et C3.	9
Figure 8 - C1	10
Figure 9 - C2	11
Figure 10 - C3	11
Figure 11 - Extrait du plan de prévention des risques miniers de la ville de Saint-Etienne – Pièce n°4 – 6 – Carte du zonage PPRM – Zoom F – Janvier 2018.....	13
Figure 12 - Configurations des bâtiments un béton de bois. Extrait ATEx CS2	15
Figure 13 - Disposition de principe des chainages pour la configuration A zones sismique 1 et 2. Extrait ATEx CS2.	16
Figure 14 - Principe des poteaux noyées dans les façades n béton de bois Extrait ATEx CS217	
Figure 15 - Détail dimensionnement des dalles	19
Figure 16 - Détail dimensionnement de la poutre	21
Figure 17 - Détail dimensionnement poteau	23
Figure 18 - Détail voiles.....	24
Figure 19 - Dallages sur terre-plein.....	27

MEMORIAL TECHNIQUE

BETON DE BOIS

Giovanna PAIXAO // Année 2024-2025

Ecole National d'Ingénieurs de Saint- Etienne

Ingénierie Construction Saint Etienne IC42

Introduction

Dans le cadre de mon projet de fin d'études à l'École Nationale d'Ingénieurs de Saint-Étienne, j'ai eu l'opportunité de travailler avec le béton de bois, en panneaux préfabriqués CS2, un matériau innovant récemment industrialisé en 2021. Cette expérience a marqué la première utilisation de ce matériau dans notre bureau d'études. J'ai dirigé les recherches nécessaires pour valider l'utilisation du béton de bois, en collaborant avec les ingénieurs d'IC42 et les concepteurs du matériau. J'ai également analysé et appliqué les directives de l'ATEX disponibles pour ce projet.

Les panneaux CS2, fabriqués par CCB Greentech ou ses partenaires sous licence TimberRoc, sont destinés à la réalisation de murs porteurs et/ou de contreventement. Composés de mortier de granulats de bois et de ciment, ces panneaux supportent les charges verticales et horizontales, assurent la stabilité au feu et le comportement parasismique grâce à des chaînages en béton armé. Ils peuvent être complétés par des poteaux ou poutres en béton armé pour des charges concentrées.

L'objectif de ce mémorial technique est de réunir toutes mes recherches, les réponses apportées à mes questions, des points qui n'ont pas encore été confirmés avec les concepteurs, présenter des études des points singuliers pour évaluer le comportement de l'ensemble de ma structure et un bref comparaisons économique et mécanique avec des principes constructifs similaires.

SOMMAIRE

Introduction	2
1. Présentation globale	4
2. Informations utiles : fonctionnement et mode d'emploi.....	5
• Liaison panneaux en béton de bois et chainages béton.....	5
• Limitation en dimensions des murs :	5
• Fondations :	5
• Clavetage en béton armée :	6
• Traitement des baies et ouvertures :	6
• Stabilité de l'ensemble de l'ouvrage.....	7
• Renforts en béton armée	7
• Linteaux :	7
• Acrotères :	8
• Cas particuliers :	8
3. Variétés et classifications	8
4. Description du Matériau.....	10
4.1 Composition.....	10
4.2 Propriétés physiques et chimiques.....	10
4.3 Propriétés Mécaniques ELU et ELS	11
4.4 Détermination de la charge admissible NRd	12
• Durabilité et longévité	16
• Isolation thermique et acoustique :	18
• Isolation acoustique :	18
• Finition :	18
5. Avantages et Inconvénients.....	20
6. Comparaison des Caractéristiques avec d'autres principes constructifs	20
7. Analyse de Coût	21
8. Documents de référence.....	22

1. Présentation globale

Le béton de bois est utilisé pour fabriquer des éléments préfabriqués, tels que des murs porteurs ou des panneaux de façade, qui sont ensuite assemblés sur site. Les performances mécaniques du béton de bois sont proches de celles de la maçonnerie traditionnelle.

Les principales caractéristiques de ce principe constructif de murs porteurs avec chaînages horizontaux et verticaux dimensionnés selon la zone sismique :

- Murs préfabriqués en béton de bois Timber Roc®
- Panneaux à assemblage sur chantier par clavetage en béton
- Réservations pour les chaînages intégrées
- Chaînages en béton armé à couler sur chantier
- Murs porteurs et/ou de contreventement

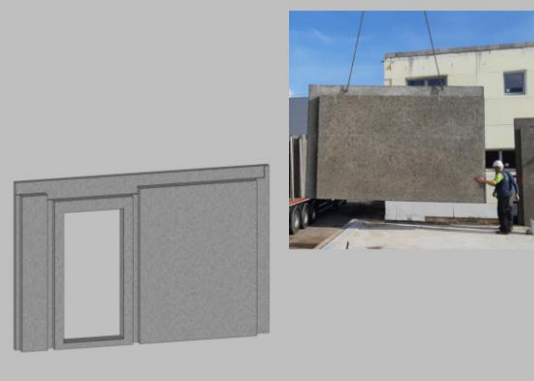
Mur porteur à chaînage béton (CS2)

Famille 2 (jusqu'à R+3) ou famille 3 avec surélévation de 3 niveaux

ATEX
de classe A

- ✓ Epaisseur : 24 à 40 cm
- ✓ Eléments Chaînages et linteaux en béton armé selon Eurocode 6 et 8
- ✓ Assemblage de deux panneaux par un chaînage béton aux jonctions verticales. Rive de dalle isolée intégrée
- ✓ Pose sur mortier colle en horizontal
- ✓ Intégration de feuillures et réservations possible
- ✓ Bilan Carbone / ACV Dynamique
 - 11 kg CO₂/m² en épaisseur 24 cm
 - 17 kg CO₂/m² en épaisseur 30 cm

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE
BREVET DÉPOSÉ



2. Informations utiles : fonctionnement et mode d'emploi

- **Liaison panneaux en béton de bois et chainages béton** : La liaison entre le chaînage en béton armé (ou les éléments de renfort en béton armé) et les panneaux en béton de bois est réalisée par adhérence béton/béton de bois (le coulage du béton est réalisé après la mise en œuvre des panneaux). [**\$1° page 2 ATEx**] de façon similaire à la construction en maçonnerie de blocs ou briques.
- **Limitation en dimensions des murs** : [**\$3.1 page 9 ATEx**].
 - Hauteur panneau : 330cm (380cm avec relevé planelle/acrotère)
 - Longueur panneau : 800cm
 - Epaisseurs murs de rives : 24cm à 40cm.
 - Epaisseurs murs de refend : 20cm à 40cm.
 - Dimensions maximums des ouvertures intégrées : 300cm * 270cm (Largeur * Hauteur)
 - Planelle intégrée pour les appuis des dalles. L'ATEx n'indique pas la dimension mini de la planelle pour les dalles, mais il indique l'appui mini des dalles comme : [**\$4.7.3 page 43 ATEx**].
 - Au 2/3 de l'épaisseur pour les parois d'épaisseur < 30 cm
 - Au 3/5 de l'épaisseur pour les parois d'épaisseur ≥ 30
 - Hauteur totale du bâtiment : ne doit pas dépasser 28 mètres au niveau du plancher bas du dernier niveau
 - Surélévation : 3 niveaux maximum sur des bâtiments de 1ère famille, 2ème famille et 3ème famille en béton armé. Le dernier niveau en béton de bois CS2 peut accueillir un attique si les vérifications de structure le permettent.
- **Fondations** :
 - Les panneaux **ne sont pas** destinés à être utilisés en mur enterrés [**\$1.2 de l'ATEx**].

- La première assise des murs ne dépasse pas de plus de 20 mm le bord d'un plancher ou d'une fondation.
- Risques de la remontée de capillarité : Mêmes précautions prises pour la maçonnerie dans le DTU 20.1. [**§4.3.3 page 12 ATEx**].

- **Clavetage en béton armée :**

- Selon la zone et la catégorie sismique, la synthèse est donnée par classification en configurations de A à E [**§4.4 page 14 ATEx**]
- Le rôle des chaînages est de ceinturer les panneaux de murs et les planchers. Ils doivent être liés entre eux. [**§4.5.1 et §4.6.1 ATEx**]
- Chaque liaison verticale entre 2 panneaux adjacents doit accueillir un chaînage coulé sur chantier. [**§4.6.1 ATEx**]
- Continuité des chaînages et enrobage des armatures est similaire à celle d'une maçonnerie chaînée relevant du DTU 20.1 [**§4.6.1 page 27 ATEx**]
- Le ferrailage requis pour chaque chaînage est donné dans §4.6.2 page 37 de l'ATEx pour un bâtiment en configuration A et §4.6.3 et §4.6.4 pour les autres configurations.
- A noter qu'on peut remplacer les chaînages de renfort d'ouverture sur les zones verticales par des chaînages secondaires ou principaux. Les chaînages de renfort d'ouverture ou les chaînages verticaux de substitution doivent se situer à une distance inférieure à 35 cm du bord vertical du tableau de l'ouverture. Les chaînages principaux peuvent être substitués par des chaînages secondaires si un chaînage principal est disposé à moins de 120cm.

- **Traitement des baies et ouvertures : [**§4.6.1 ATEx**]**

- Dimensions des trumeaux : minimum de 60 cm plein en béton de bois.
- La longueur de retours d'angles d'un bâtiment doit être au minimum de 60 cm.
- Il est possible de réduire cette longueur en insérant des éléments porteurs en béton armé de type poteaux, **sans être inférieur à une longueur de 40cm.**

- Les appuis de baies sont réalisés sur chantier ou en éléments préfabriqués (béton, pierre, terre cuite). Leur mise en œuvre doit suivre les dispositions précisées au NF DTU 20.1 P1.1 [**§4.8.3 ATEx**]
- Les tableaux de baies sont réalisés directement dans les panneaux CS2 par coffrage lors de la fabrication. La position des ouvertures doit respecter les indications géométriques données dans l'annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin ».

- **Stabilité de l'ensemble de l'ouvrage**

- Les panneaux de mur CS2 TimberRoc reprennent les efforts verticaux et horizontaux – Les vérifications sont conduites à l'Etat Limite Ultime.
- Les points singuliers à vérifier (charge concentrée, linteau de porte/fenêtre, encadrement de baie) sont les mêmes que pour les ouvrages en maçonnerie traditionnelle.

- **Renforts en béton armé [**§4.6.1** page 28 ATEx et **§4.10.2** page 49 ATEx]**

- Lorsque les charges à supporter imposent la disposition d'un élément porteur en béton armé, le panneau CS2 peut servir de coffrage à cet élément.
- L'exécution de ce renfort en béton armé doit respecter les exigences du NF DTU 21.
- Les panneaux CS2 peuvent aussi intégrer directement à la fabrication des éléments de renfort en béton armé si les dispositions de continuité des armatures métalliques sont bien applicables sur le chantier par la suite.

- **Linteaux :**

Les linteaux sont en béton armé, soient coulés en usine et intégrés au panneau CS2, soient coulés sur chantier en retombée du chaînage horizontal. La longueur d'appui des linteaux sur les murs CS2 ne peut être inférieure à 24cm. Dans le cas d'ouvertures accueillant des renforts chaînés verticaux, le linteau doit à minima appuyer jusqu'à la limite extérieure des chaînages de renforts verticaux.

- **Acrotères :**

- Classification des acrotères haut et bas comme dans le béton
- Les joints de fractionnement sont à prévoir comme pour le béton ont définies en référence au DTU 20.1 P4

- **Cas particuliers :**

- 4.10.1. Bâtiments de grande hauteur et portes sectionnelles
- 4.10.2. Mix avec éléments porteurs en béton armé de types poteaux et poutres
- 4.10.3. Planchers en balcon
- 4.10.5. Bâtiments en surélévation
- Les panneaux ne peuvent pas travailler en poutre voile.
- Les formes géométriques des panneaux restent classiques, il n'est pas possible d'avoir des voiles courbes ou une géométrie spécifique.

3. Variétés et classifications

Selon la configuration, en particulier la taille du bâtiment, le béton de bois peut être utilisé dans différents principes constructifs :

LES PRINCIPES CONSTRUCTIFS		Document technique associé
WS1	Mur porteur à ossature bois intégrée	ETN
 CS2	Mur porteur à chaînage béton	ATEX de cas A obtenue en 2022
 FP2	Façade non porteuse - Autoporteuse	ATEX de cas A obtenue en Février 2023
 FP3	Façade non porteuse – Ancrée nez de dalle	ATEX de cas A obtenue en Février 2023
DS1	Prédalle nervurée	ATEX de cas A attendue pour le 2nd trimestre 2024

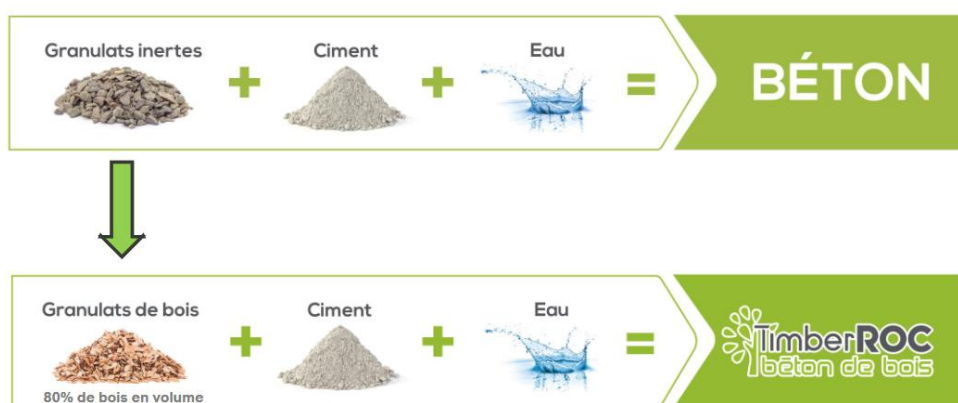
- **Murs porteurs à ossature bois et chaînage bois (WSI)** : les panneaux (30 à 34 cm d'épaisseur) sont vissés entre eux, et constituent eux-mêmes la structure bois. Ils requièrent simplement une isolation complémentaire. Ce principe convient aux maisons individuelles (R+1).
- **Murs porteurs à chaînage béton armé (CS2)** : les panneaux (20 à 30 cm d'épaisseur) intègrent des réservations sur-mesure, dans lesquelles est coulé un chaînage en béton armé sur le chantier pour les assembler, en intégrant une rive de dalle isolée. Ce principe convient aux bâtiments jusqu'à R+3.
- **Murs de façade filante (FP2&3)** : les panneaux (16 à 20 cm d'épaisseur) s'intègrent dans une structure poteaux – dalles. Ils peuvent être autoporteurs jusqu'à R+3, au-delà ils s'ancrent dans les nez de dalle pour des immeubles jusqu'à R+10.
- **Planchers en prédalle nervurée (DS1)** : les panneaux nervurés intègrent des poutrelles en béton armé. Si leur utilisation permet de réduire la quantité de béton armé utilisée par rapport à des alternatives comme la « Dalle BB » et le bilan carbone, son épaisseur (entre 16 et 20 cm) supérieure à la moyenne peut être vue une contrainte pour la construction d'immeuble, puisqu'elle peut réduire le nombre d'étages à hauteur égale.

4.Description du Matériau

• 4.1 Composition

Les panneaux préfabriqués CS2 sont réalisés à partir d'un mortier à base de :

- Granulat de bois résineux broyées,
- Additifs minéraux - chaux,
- Ciment CE ou NF de type CEM I, CEM II ou CEMIII d'indice 42,5 ou 52,5,
- Eau



4.2 Propriétés physiques et chimiques

Matériau	σ (Résistance normalisée)	λ (W/m.K)	ρ_{moyen} (kg/m ³)	μ (Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau)	α (Coefficient de dilatation thermique)	CCM (Chaleur de combustion mobilisable) (MJ/kg)
Béton de bois TimberRoc	> 4 Mpa	0,16	800 (stabilisé en utilisation)	10 (coupelle humide) 40 (coupelle sèche)	$18 \cdot 10^{-6} \text{ (K}^{-1}\text{)}$	0,108MJ/kg (en 24cm)

Tableau DT01 : Caractéristiques principales du TimberRoc F800

4.3 Propriétés Mécaniques ELU et ELS

En dimensionnement ELU, le béton de bois a les caractéristiques suivantes :

Paramètre	Valeur	Unité	Définition
f_m	4,00	MPa	Résistance moyenne à la compression
f_k	3,00	MPa	Résistance caractéristique à la compression
$\gamma_{M\ ELU}$	2,2		Coefficient partiel de sécurité ELU
f_{d_ELU}	1,36	MPa	Valeur de calcul ELU pour la résistance à la compression ($\gamma_{M\ ELU} = 2,2$)
$f_{d_ELU_séisme}$	2	MPa	Valeur de calcul de la résistance à la compression pour les actions sismiques ($\gamma_{M\ ELU\ séisme} = 1,5$)
f_{xk}	1,4	MPa	Résistance caractéristique à la flexion
f_{vk0_m}	0,38	MPa	Résistance initiale au cisaillement de l'interface béton de bois – mortier
f_{vk0_b}	0,53	MPa	Résistance initiale au cisaillement de l'interface béton de bois – béton
E	2000	MPa	Module d'élasticité
ρ	800	Kg/m ³	Masse volumique du béton de bois

Tableau DT05 : Valeurs de calcul à retenir pour le dimensionnement à l'ELU

Coefficient de fluage = **1,9**

F_{lim_feu} = 220 kN/ml

4.5.3. Dimensionnement à l'état limite de service (ELS)

En complément des indications du paragraphe §7 de l'Eurocode 6, et afin de maintenir les effets du fluage à un niveau acceptable pour le fonctionnement de la structure, la contrainte de compression dans le béton de bois, sous combinaison ELS quasi-permanent, est limitée à :

$$\sigma_{ELS\ QP} \leq 0,8\ MPa$$

- **Discussion sur les caractéristiques annoncées**

$f_{d,ELU}$ = La valeur de calcul ELU de 1,36 MPa pour la résistance à la compression est très basse, pire que la brique. Cela nous oblige quasi systématiquement à prévoir des sommiers en béton pour les poutres de façade.

E = Le module d'élasticité est également très bas, soit 15 fois moins important que le béton. La mise en place de ces deux matériaux liés peut nous inciter à interroger sur le fonctionnement de la structure globale étant donné que ce comportement du béton de bois puisse entraîner des contraintes supplémentaires dans certaines zones.

Pour nous assurer de la stabilité du bâtiment, nous avons mené des calculs simples et effectué des vérifications locales concernant le fonctionnement béton/béton de bois, notamment au droit des trumeaux en béton et au droit du rencontre des façades et des murs de refend.

Sous une charge maximale admissible de 16,4 t/ml, les panneaux d'une hauteur de 3,00 m présentent un tassement de l'ordre de 0,5 mm, tandis que le béton montre un tassement pratiquement nul. Ce tassement est négligeable et ne cause pas de désordres ponctuels.

4.4 Détermination de la charge admissible NRd

Mur soumis principalement à un chargement vertical répartie

$$N_{Rd} = l \times t \times f_d \times \Phi$$

Avec :

l : longueur du mur,

t : épaisseur du mur [m],

f_d : valeur de calcul de la résistance à la compression du mur [kPa],

Φ : coefficient de réduction pour tenir compte de l'élancement du mur, de l'excentricité des charges verticales appliquées.

Le calcul du coefficient de réduction est effectué selon la méthode décrite au paragraphe « 6.1.2.2 Coefficient de réduction pour l'élancement et l'excentricité » de l'EC6-1. La valeur à retenir dans le calcul est la plus petite des deux valeurs Φ_i et Φ_m :

$$\Phi = \min(\Phi_i; \Phi_m)$$

Avec :

$$\Phi_i = 0,8 \times \left(1 - 2 \frac{e_i}{t}\right) : \text{coefficient de réduction calculé en tête ou en pied de mur,}$$

$$\Phi_m = A_1 e^{\left(-\frac{u^2}{2}\right)} : \text{coefficient de réduction calculé à mi-hauteur.}$$

Avec :

e_i : excentricité totale en tête ou pied de mur

t : épaisseur du mur [m],

Et :

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_m}{t} \qquad u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_m}{t}} \qquad \lambda = \frac{hef}{t} \sqrt{\frac{f_k}{E}}$$

Avec hauteur effective du mur déterminée selon EC6 § 5.5.1.2 Hauteur effective des murs de maçonnerie.

- Pour les murs liés en tête et en pied à un plancher en béton armé portant dans un seul sens et ayant un appui d'au moins les 2/3 de l'épaisseur du mur (cas général pour le système CS2), la **hauteur effective est prise égale à 0,75 fois la hauteur libre** (EC6 § 5.5.1.2 Hauteur effective des murs de maçonnerie)

Le calcul de l'excentricité totale, e_i ou e_m , est détaillé dans la norme EC6-1 (§ 6.1.2.2) : elle comprend obligatoirement une composante liée à l'excentrement des charges et une composante liée aux imperfections géométriques, et ne peut être inférieure au 1/20^{ème} de l'épaisseur.

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_h + e_{init} \geq 0,05t$$

$$e_m = \frac{M_{md}}{N_{md}} + e_{hm} + e_{init} \geq 0,05t$$

L'excentricité liée aux imperfections géométriques est prise égale à (EC6-1 §5.5.1.1 (4)) :

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450}$$

Les tableaux ci-dessous donnent les valeurs du coefficient Φ pour différentes configurations de murs simple hauteur dont l'élancement ≤ 15 , les hypothèses (hauteur libre, hauteur effective, épaisseur, charge centrée ou excentrée) sont précisées dans chaque cas :

Coefficient Φ pour une charge centrée – $h_{ef} = h$		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	0,72	0,72	0,72	0,70	--
	0,24	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,3	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tableau DT06 : coefficient réducteur en fonction de la hauteur et de l'épaisseur du mur – charge centrée

Coefficient Φ pour une charge centrée – $h_{ef} = 0,75 h$		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	0,72	0,72	0,72	0,72	--
	0,24	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72
	0,3	0,72	0,72	0,72	0,72	0,72

Tableau DT07 : coefficient réducteur en fonction de la hauteur et de l'épaisseur du mur – charge centrée

Coefficient Φ pour une charge excentrée – hef = h		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	0,45	0,41	--	--	--
	0,24	0,50	0,48	0,46	0,43	0,39
	0,3	0,50	0,50	0,50	0,50	0,48

Tableau DT08 : coefficient réducteur en fonction de la hauteur et de l'épaisseur du mur – charge excentrée

Coefficient Φ pour une charge excentrée – hef = 0,75 h		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	0,50	0,50	--	--	--
	0,24	0,51	0,50	0,50	0,50	0,50
	0,3	0,51	0,51	0,51	0,51	0,50

Tableau DT09 : coefficient réducteur en fonction de la hauteur et de l'épaisseur du mur – charge excentrée

Charge admissible NRd [kN/ml]		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	196	196	196	196	--
	0,24	236	236	236	236	236
	0,3	295	295	295	295	295

Tableau DT10 : charge admissible pour un mur soumis à une charge centrée

Charge admissible NRd [kN/ml]		hauteur [m]				
		2,4	2,6	2,8	3	3,3
épaisseur [m]	0,2	137	136	--	--	--
	0,24	166	165	164	164	163
	0,3	209	209	208	207	206

Tableau DT11 : charge admissible pour un mur soumis à une charge excentrée

Dans notre cas $\Phi = 0,72$ pour une charge centrée et $\Phi = 0,50$ pour une charge excentrée

$$N_{Rd} = l \times t \times f_d \times \Phi$$

$$N_{Rd} = 1,00 \times 0,24 \times \frac{3000}{2,2} \times 0,72 = \mathbf{235,6 \text{ kN/mL}}$$

$$N_{Rd} = 1,00 \times 0,24 \times \frac{3000}{2,2} \times 0,50 = \mathbf{163,6 \text{ kN/mL}}$$

- **Durabilité et longévité**

La durabilité et longévité des panneaux CS2 retirées de la fiche de déclaration environnementale et sanitaire du produit Panneau TimberRoc CS2 Epaisseur 24cm.

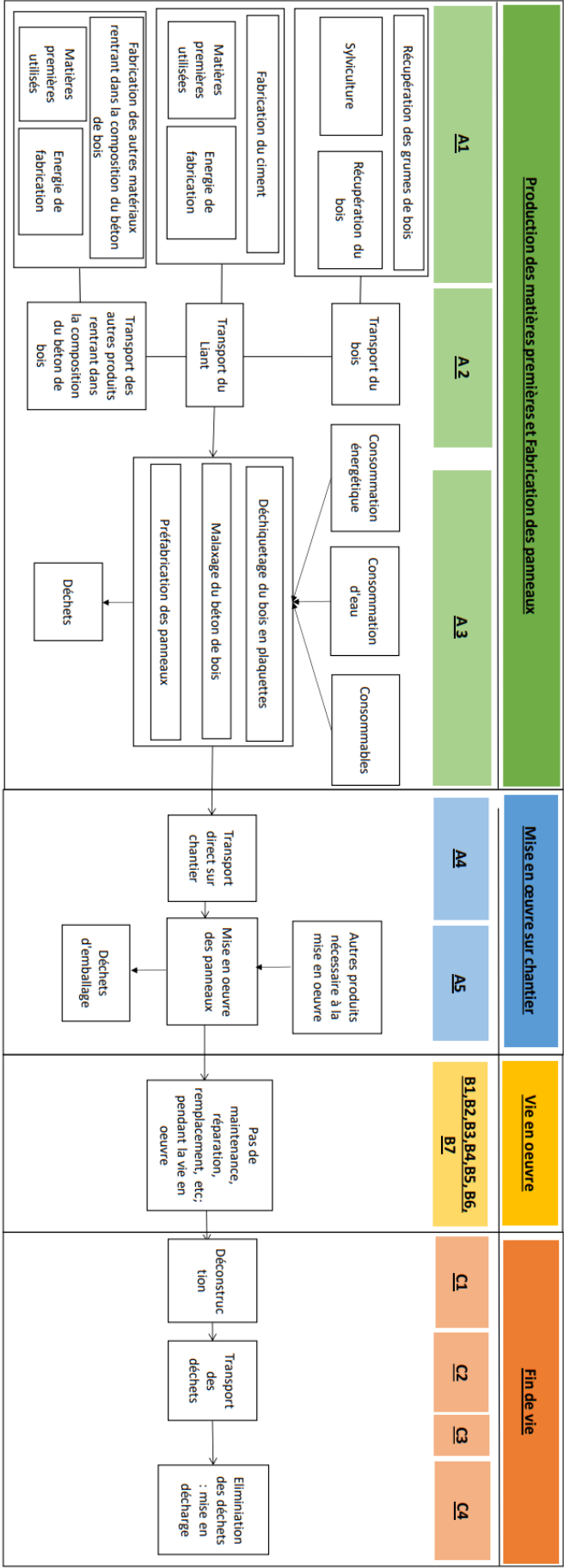
8. Description de la durée de vie de référence (si applicable et conformément aux §7.2.2 de la NF EN 15804+A1)

Paramètres	Valeurs
Durée de vie de référence	100 ans
Propriétés déclarées du produit et finitions, etc.	Le panneau TimberRoc CS2 est structurant et peut être utilisé en zone sismique de 1 à 4 pour : •Bâtiment d'habitation: individuel ou collectifs de 1°et 2°famille (R+3) •Bâtiment à usage non résidentiel •Etablissement Recevant du Public de catégorie 1 à 5 (ERP) •Bâtiment industriel ou agricole jusqu'à 8m •Surélévation sur des bâtiments existants jusqu'en famille 3 Le panneau TimberRoc apporte également une isolation thermique répartie dans l'épaisseur du mur et des propriétés de régulation de l'hygrothermie. Sa conductivité thermique a été déterminée selon les règles TH-U
Paramètres théoriques d'application y compris références aux pratiques appropriées	Le panneau TimberRoc CS2 doit être mis en œuvre conformément aux prescriptions du fabricant et de l'ATEX n°3044-V1.
Qualité présumée des travaux lorsque l'installation est conforme aux instructions du fabricant	La qualité des travaux est présumée conforme aux recommandations du fabricant.
Environnement extérieur (pour les applications en extérieur)	Le produit peut être mis en œuvre partout en France métropolitaines en tenant compte des dispositions de l'ATEX n°3044-V1.
Environnement intérieur (pour les applications en intérieur)	
Conditions d'utilisation	Le produit doit être mis en œuvre dans des conditions conformes aux prescriptions du fabricant.
Maintenance	Aucune maintenance ou entretien n'est nécessaire pendant la durée de vie du produit.

Termites - Le matériau béton de bois n'est pas une source de nourriture pour les termites.

Resistance mycologique - Dans cette condition climatique (95% +/-5% d'humidité relative et 23°C +/-2°C - après un trempage préalable de 2 jours dans l'eau) d'exposition aux moisissures pendant 3 semaines, le béton de bois testé est résistant au développement des moisissures.

Le cycle de vie du produit est présenté ci-dessous :



- **Isolation thermique et acoustique :**

Le béton de bois a une conductivité thermique, qui définit son aptitude à laisser passer la chaleur, de **0,16 W/m.K**. Bien plus faible que pour le béton classique (de l'ordre de 1,7 W/m.K), cette valeur ne le place cependant pas au niveau des isolants. Il est possible d'appliquer une couche d'isolation supplémentaire coté extérieur.

Ce matériau se distingue par sa grande inertie thermique, c'est-à-dire à sa capacité à se maintenir à une température constante malgré les variations de la température extérieur, contribuant fortement au confort d'été des logements :

- Avec un **taux d'amortissement de 96 %**, les variations de température des parois seront très limitées.
- **Son déphasage thermique** – c'est-à-dire le temps que la chaleur met à traverser une paroi – est **d'environ 18 heures** (pour 30 cm d'épaisseur), une des valeurs les plus élevées parmi les matériaux existants. Cela signifie qu'en cas de forte chaleur pendant la journée, le logement restera à une température inférieure à l'extérieur, en attendant de profiter de la fraîcheur de la nuit.

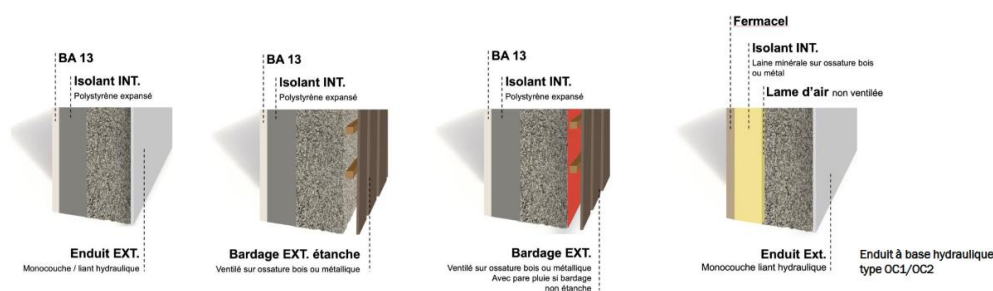
- **Isolation acoustique :**

Le coefficient de réverbération **Alpha_w d'un panneau en béton de bois est de 0.7**, soit un niveau proche de celui des panneaux acoustiques. Il y a donc une absorption acoustique remarquable.

- **Finition :**

Les panneaux CS2 en béton de bois TimberRoc ne garantissent pas l'étanchéité à l'air requise par la réglementation : il est nécessaire de prévoir des solutions complémentaires par enduisage extérieur, enduisage intérieur ou avec des complexes d'isolation ou de pare-vapeur du côté extérieur ou intérieur **[\$8.6 ATE]**

ITI : En ITI, les planelles intégrées sur les panneaux en nez de dalle contribuent à réduire les ponts thermiques.



Thermique	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 12 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 12 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 12 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 14 cm Ep. Béton de bois = 24 cm
Etanchéité AIR / EAU	✓	✓	✓	✓
Déphasage	EXCELLENT Supp. À 14h	EXCELLENT Supp. À 14h	EXCELLENT Supp. À 14h	EXCELLENT Supp. À 14h
Perspirance	BONNE	BONNE	MOYENNE	EXCELLENTE
Acoustique	> 60 dB	> 43 dB	> 43 dB	> 60 dB

ITE : Le béton de bois TimberRoc fonctionne également bien en ITE.



Thermique	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 14 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 14 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 12 cm Ep. Béton de bois = 24 cm	Pour R=5 (m².K/W) Ep. Isolant = 12 cm Ep. Béton de bois = 24 cm
Etanchéité AIR / EAU	✓	✓	✓	✓
Déphasage	BON	BON	MOYEN	MOYEN
Perspirance	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE	MOYENNE
Acoustique	> 38 dB	> 38 dB	> 43 dB	> 45 dB

5. Avantages et Inconvénients

- **Avantages :**

- Inertie très importante
- Matériau léger
- Bilan carbone négatif
- Ininflammable
- Installation rapide et silencieuse
- Conformité RE2020
- Performance : Durable, résistant au feu, bon isolant acoustique, et offre un confort thermique toute l'année.
- Applications structurales : Utilisable pour des murs porteurs jusqu'à R+3 et des façades jusqu'à 10 étages.
- Mise en œuvre rapide : Construction rapide et coûts optimisés grâce à la préfabrication.
- Recyclabilité : Bon taux de réutilisation, favorisant le recyclage.
- Innovation : Technologie brevetée, alliant béton de bois et béton armé.

- **Inconvénients**

- Utilisation de ciment : Toujours dépendant du ciment, une source importante d'émissions de CO₂.
- Étanchéité et isolation : Nécessite des traitements supplémentaires pour l'étanchéité et l'isolation.
- Applications limitées : Actuellement limité à certains types de constructions, comme les murs porteurs et les façades.
- Adoption limitée : Encore peu de projets réalisés, ce qui peut freiner son adoption à grande échelle.

6. Comparaison des Caractéristiques avec d'autres principes constructifs

	Béton de Bois	BioBrique – Terre cuite	Béton C25/30
<i>f_m</i> [MPa]	4,00	8,8 à 11,3	25
<i>f_k</i> [MPa]	3,00	2,8 à 5,8	30
<i>γ_m</i> ELU	2,2	2,5	1,5
<i>f_d</i> ELU [MPa]	1,36	1,12 à 2,32	16,67
<i>Fl_{im}</i> au feu [t/ml]	22,0	14,0	-
<i>ρ</i> [kg/m³]	800	620 à 875	2500
<i>E</i> [MPa]	2000	2800 à 5800	31000
<i>λ</i> [W/m.k]	0,16	0,7 à 1,2	2,1 à 2,3
Bilan Carbone kg CO₂e/m²	-40 à -70	40	250 à 350

7. Analyse de Coût

Le coût estimatif pour un voile ou une dalle en béton de bois est compris entre **180€ et 220€ par m²**, en fonction des épaisseurs et des choix constructifs. Ce montant est indicatif, les prix précis étant déterminés par les préfabriquant et les maçons. En revanche, une évaluation du coût/bénéfice doit être faite, car ce principe constructif permet de réaliser des économies par ailleurs :

Fondations plus légères : Moins de renforcement nécessaire grâce à un poids trois fois inférieur à celui du béton traditionnel.

Système constructif écoconçu : Réduction des besoins en rupteurs thermiques.

Économies d'énergie : Meilleure inertie thermique, réduisant les besoins en climatisation.

Biosourcé abordable : Coût estimé à 4€ par kg de matériau biosourcé, contre 12€ pour le MOB, avec 80% de bois en volume pour un faible impact carbone.

- **Comparaison avec d'autres matériaux** :

Les couts du béton de bois indiqués se sont les coûts estimatifs fournis/posés, les autres sont des valeurs estimatives rencontrées sur internet direct avec les fournisseurs.

	Béton de Bois	Brique – Terre cuite	Maçonnerie Composite	Béton
Cout €/m ²	180 - 220	50 - 80	70 à 110	50 à 80

8. Documents de référence

Normes

- NF DTU 20.1
- NF DTU 26.1
- NF EN 1990 (Eurocode 0)
- NF EN 1991 (Eurocode 1)
- NF EN 1992 (Eurocode 2)
- EN 1996 (Eurocode 6)
- EN 1998 (Eurocode 8)
- NF EN 206

Documents Technique béton de bois et d'autres principes constructifs :

ATEx - APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION N° de référence CSTB : 3044_V1 :

<https://ccbgreentech.com/upload/data/files/DOCS/3044-v1%20%281%29.pdf>

Principe constructif CS2 :

<https://ccbgreentech.com/upload/data/files/ACTIVITE/Principe%20constructif%20TimberRoc%20CS2%20-%20V2.2.pdf>

Présentation du béton de bois TimberRock :

https://ccbgreentech.com/upload/data/files/Pr%C3%A9sentation_Beton_de_bois_TimberRoc%20Avril%202024.pdf

Document RE9 : Rapport d'essais du LMC2 de Mai 2022 « **Essais sur béton de bois : Essais de fluage en compression** » Disponible via demande au bureau d'étude responsable pour la conception

bio'bric. (n.d.). *Document Technique Fabricant - Briques de mur bgv montées au mortier joint mince* **GAMME BIO'BRIC SUD** (Édition mars 2024)
<https://www.biobric.com/documents/1310>

Sites internet :

Concilier confort d'été et construction décarbonée avec le béton de bois. Disponible en : <https://www.adaptaville.fr/concilier-confort-d-ete-et-construction-decarbonee-le-beton-de-bois>>. Access en : 02 août. 2024.

GULLYWEB. **Documentation CCB Greentech - Solutions constructives murs - Planchers - Béton de Bois - TimberRoc.** Disponible en : <<https://ccbgreentech.com/66-documentation-ccb-greentech-beton-de-bois-timberroc.htm>>.

Comment le béton de bois s'implante dans la construction - ByBeton. Disponible en :https://bybeton.fr/grand_format/comment-le-beton-de-bois-simplante-dans-la-construction.

FRÉDÉRIC BURGUIÈRE. **Le béton de bois pour décarboner les constructions de demain.** Disponible en <<https://www.futura-sciences.com/maison/actualites/batiment-beton-bois-decarboner-constructions-demain-96874/>>

Béton de bois de CCB GREENTECH : fiche produit et informations techniques sur Materiaux.archi. Disponible en: <https://www.materiaux.archi/produits/ccb-greentech/murs-et-facades-lourdes-prefabriquees-beton-de-bois_12652>.

RE 2020 : tout savoir sur la future réglementation. (n.d.). Biobric. <https://www.biobric.com/tout-savoir-re-2020>.

ETUDES ENERGETIQUES ET ENVIRONNEMENTALES DU BETON DE BOIS CCB GREENTECH.

https://beton-de-bois.fr/upload/data/files/DOCS/ETUDE_SOLAB_JUILLET_2022.pdf

DE LIMA OLIVEIRA PAIXAO GIOVANNA

N° étudiant : 111331

Identifiant National Étudiant (INE) : 213214890DE

Document à conserver. AUCUN DUPLICATA ne sera délivré.

DE LIMA OLIVEIRA PAIXAO GIOVANNA

23 rue Pierre Bérard

Saint Etienne

42000 SAINT-ETIENNE

Unités d'Enseignement du parcours Commun

UE Projet de Fin d'Etudes

Aptitudes comportementales transversales et humaines S10

Aptitudes à communiquer S10

Organisation et gestion de projet S10

Aptitudes métier S10

Rapport et soutenance S10

Note	Nombre de crédits ECTS
------	------------------------

16.4	C	25
------	---	----

17

17

18

18

18

TOTAL crédits ECTS : 25/25

DE LIMA OLIVEIRA PAIXAO GIOVANNA

Semestres Validés (Nombre de crédits obtenus)

Semestre 6 validé (30)

Semestre 7 validé (30)

Semestre 8 validé (30)

Semestre 9 validé (35)

Total des crédits ECTS obtenus: 125.0

NOTE : l'ensemble des notes est conforme au règlement des études

Décision : Réinscription TOEIC uniquement

Semestre 10 validé.

Observation(s) :

Si vous souhaitez contester cette décision, vous devez saisir le tribunal administratif de Lyon dans un délai de deux mois à compter de la notification (articles R. 421-1 à R. 421-3 du code de justice administrative).



Édité à Saint-Etienne,
le 20/09/2024

La Directrice de l'École Nationale
d'Ingénieurs de Saint-Etienne


Sylvie Mira-Bonnardel

Légende des notes lettrées : A : excellent B : très bien C : bien D : satisfaisant E : passable F : redoublement FX : examen N : neutralisation