

APPRECIATION TECHNIQUE D'EXPERIMENTATION

Numéro de référence CSTB : 3044_V4

ATEx de cas « a »

Validité du 30/06/2022 au 30/06/2027



Copyright : Société CCB GREENTECH

L'Appréciation Technique d'expérimentation (ATEx) est une simple opinion technique à dire d'experts, formulée en l'état des connaissances, sur la base d'un dossier technique produit par le demandeur. *(extrait de l'art. 24)*

A LA DEMANDE DE :

Société : CCB GREENTECH

Adresse : 515 route de Marcollin, ZI LA MALADIERE 38270 BEAUREPAIRE

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT

Siège social > 84 avenue Jean Jaurès – Champs-sur-Marne – 77447 Marne-la-Vallée cedex 2

Tél. : +33 (0)1 64 68 82 82 – Siret 775 688 229 00027 – www.cstb.fr

Établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Meaux 775 688 229 – TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE / PARIS / GRENOBLE / NANTES / SOPHIA ANTIPOLIS

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3044_V4

Note Liminaire : Cette Appréciation porte essentiellement sur le procédé de mur en panneaux de béton de bois TimberRoc, système constructif CS2

Selon l'avis du Comité d'Experts en date du 28/06/2022, le demandeur ayant été entendu, la demande d'ATEX ci-dessous définie :

- Demandeur : CCB GREENTECH ; 515 route de Marcollin, ZI LA MALADIERE 38270 BEAUREPAIRE
- Technique objet de l'expérimentation : Le procédé de mur, système constructif CS2, est constitué de panneaux préfabriqués en usine, en béton de bois TimberRoc (béton de granulats de bois lié par une matrice cimentaire chaux/ciment), mis en œuvre sur chantier en association avec des chaînages de type poteau/poutre en béton armé. Les panneaux peuvent également recevoir des éléments de renfort en béton armé (par exemple des linteaux de renfort d'ouvertures). 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).

Les panneaux CS2 ont une épaisseur qui varie entre 20 et 40 cm et présentent des dimensions maximales LxH 8,00 x 3,30 m.

Les panneaux CS2 sont destinés à recevoir sur chantier des revêtements intérieurs et extérieurs tel que décrits dans le Dossier Technique.

Le procédé système constructif CS2 ainsi défini permet la réalisation de murs non enterrés de bâtiments neufs de type habitation, ERP, industriels ou agricoles, ou construction en surélévation. L'utilisation dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques au sens de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié est visée (zones sismiques 1 à 4). Les limitations du domaine d'emploi sont précisées au §1.2 du Dossier Technique.

Cette technique est définie dans le dossier enregistré au CSTB sous le numéro ATEX 3044_V3 et résumé dans la fiche sommaire d'identification ci-annexée,

donne lieu à une :

APPRECIATION TECHNIQUE FAVORABLE A L'EXPERIMENTATION

Remarque importante : Le caractère favorable de cette appréciation ne vaut que pour une durée limitée au **30 juin 2027**, et est subordonné à la mise en application de l'ensemble des recommandations formulées aux §4.

Cette Appréciation, QUI N'A PAS VALEUR D'AVIS TECHNIQUE au sens de l'Arrêté du 21 mars 2012, découle des considérations suivantes :

1°) Sécurité

1.1 – Stabilité des ouvrages et/ou sécurité des équipements

L'ATEX porte sur la réalisation de murs porteurs en panneaux de béton de bois TimberRoc, système constructif CS2. Ce procédé est constitué de panneaux préfabriqués en usine en béton de bois TimberRoc (béton de granulats de bois lié par une matrice cimentaire chaux/ciment), mis en œuvre sur chantier en association avec des chaînages de type poteau/poutre en béton armé. Les panneaux peuvent également recevoir des éléments de renfort en béton armé (par exemple des linteaux de renfort d'ouvertures). 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). Les panneaux en béton de bois ont une épaisseur qui varie entre 20 et 40 cm. Les dimensions maximales (L x H) sur son plan sont 8,00 x 3,3 m (3,80 avec relevé planelle/acrotère). Les panneaux disposent des réservations permettant la réalisation sur place des chaînages en béton armé avec un maillage régulier.

Vis-à-vis des différentes sollicitations appliquées (dues aux charges gravitaires, au vent, etc.), la stabilité de l'ouvrage est assurée par les panneaux en béton de bois confinés par la structure poteaux/poutres en béton armé.

Au vu des éléments présentés par le demandeur dans son Dossier Technique, et moyennant le respect des recommandations figurant au paragraphe 4 ci-après, la stabilité des ouvrages et la sécurité des usagers en situation normale peuvent être considérées comme satisfaisantes.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3044_V4

1.2 – Sécurité des intervenants

Moyennant le respect des dispositions usuelles relatives à la manutention et pose des éléments préfabriqués, ainsi que les dispositions constructives décrites dans le Dossier Technique relatives aux opérations de bétonnage, la sécurité des intervenants peut être considérée comme satisfaisante.

1.3 – Sécurité en cas d'incendie

Le procédé a fait l'objet d'une Appréciation de Laboratoire n° AL21-304 délivrée par le CSTB permettant de justifier d'un classement jusqu'à REI 180, en fonction de la hauteur utile des panneaux et de la charge appliquée en tête. La hauteur utile des panneaux est limitée à 3,3 m.

Enfin, l'Appréciation de Laboratoire n° EFR-22-001940 délivrée par EFFECTIS présente les dispositions constructives à respecter en cas d'utilisation du procédé dans des bâtiments pour lesquels il existe une exigence de résistance à la propagation du feu par les façades.

1.4 – Sécurité en cas de séisme

L'utilisation du procédé constructif CS2 dans des bâtiments nécessitant des dispositions parasismiques conformément à l'arrêté du 22 octobre 2010 est visée. La stabilité des ouvrages en situation sismique est vérifiée selon la méthode de calcul définie dans le Dossier Technique.

Moyennant le respect des recommandations figurant au paragraphe 4 ci-après, la stabilité des ouvrages et la sécurité des usagers en situation sismique peuvent être considérées comme satisfaisantes.

2°) Faisabilité

2.1 – Production

La fabrication des granulats de bois est réalisée uniquement par le demandeur dans son usine à Beaurepaire (38). La fabrication des panneaux en béton de bois est réalisée dans l'usine du demandeur ou dans des usines licenciées. Toutes les usines visées possèdent les moyens nécessaires pour la production de ce type d'élément préfabriqué.

La fabrication des granulats de bois et des panneaux en béton de bois est encadrée par un Plan d'Assurance Qualité établi par le titulaire de l'ATEX. Dans ces conditions et moyennant le respect des recommandations citées au paragraphe 4, la faisabilité de fabrication est avérée.

2.2 – Mise en œuvre :

La mise en œuvre est effectuée conformément aux prescriptions du Dossier Technique par l'entreprise, en liaison dès la phase de conception avec le fabricant des panneaux en béton de bois (titulaire et/ou licenciés) qui lui livre les panneaux accompagnés du plan de pose complet. La mise en œuvre du procédé fait également l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité établi par le titulaire.

Dans ces conditions et moyennant le respect des recommandations citées au paragraphe 4 ci-après, la faisabilité de mise en œuvre du procédé est certaine.

3°) Risques de désordres

Moyennant le respect des recommandations ci-dessous, les risques de désordres sont maîtrisés.

4°) Recommandations

Il est recommandé de :

- Proscrire l'intégration d'armatures de renfort dans les panneaux en béton de bois ;
- En cas de mise en œuvre dans une zone faisant l'objet d'un arrêté préfectoral pour l'attaque de termites et en absence de justification de la fonction barrière du procédé CS2 contre le passage de termites à l'intérieur du bâtiment, une barrière anti-termite devra être mise en œuvre sur toute la périphérie de l'ouvrage.
- Limiter le domaine d'emploi aux enduits de type OC1 et OC2 au sens de la norme NF DTU 26.1.
- Exclure l'utilisation du procédé à une distance inférieure d'1 km du front de mer.

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3044_V4

5°) Rappel

Le demandeur devra communiquer au CSTB, au plus tard au début des travaux, une fiche d'identité de chaque chantier réalisé, précisant l'adresse du chantier, le nom des intervenants concernés, les contrôles spécifiques à réaliser et les caractéristiques principales à la réalisation.

EN CONCLUSION

En conclusion et sous réserve de la mise en application des recommandations ci-dessus, le Comité d'Experts considère que :

Conclusion FAVORABLE

- La sécurité est assurée,
- La faisabilité est avérée,
- Le risque de désordre est minime.



Champs sur Marne,
Le Président du Comité d'Experts,

Ménad CHENAF

Appréciation Technique d'Expérimentation n° 3044_V4

ANNEXE 1

FICHE SOMMAIRE D'IDENTIFICATION (1)

Demandeur : Société CCB Greentech
515 route de Marcollin, ZI LA MALADIERE
38270 BEAUREPAIRE

Définition de la technique objet de l'expérimentation :

Procédé

L'ATEX porte sur la réalisation de murs porteurs en panneaux de béton de bois TimberRoc, système constructif CS2. Ce procédé est constitué de panneaux préfabriqués en usine en béton de bois TimberRoc (béton de granulats de bois lié par une matrice cimentaire chaux/ciment), mis en œuvre sur chantier en association avec des chaînages de type poteau/poutre en béton armé. Les panneaux peuvent également recevoir des éléments de renfort en béton armé (par exemple des linteaux de renfort d'ouvertures). 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). Les panneaux en béton de bois ont une épaisseur qui varie entre 20 et 40 cm. Les dimensions maximales (L x H) sur son plan sont 8,00 x 3,3 m (3,80 avec relevé planelle/acrotère). Les panneaux disposent des réservations permettant la réalisation sur place des chaînages en béton armé avec un maillage régulier.

Matériaux

Béton de bois : Il est constitué à base de granulats de bois résineux broyées, additifs minéraux, chaux, ciment CE 42,5N ou 52,5 CE NF et eau. Le béton de bois appartient à la famille des bétons légers à matrice cimentaire et charges végétales de forme granulaire. La masse volumique moyenne du béton de bois est d'environ 800 kg/m³.

Béton : Le béton utilisé pour la réalisation des éléments de chaînage en béton armé (de type poteau / poutre) est de type Béton Prêt à l'emploi et conforme à la norme NF EN 206/CN. Il est de classe de résistance minimale C25/30.

Armatures de renforcement pour des éléments en béton armé : Armatures en acier, en barres filantes ou façonnées et conformes à la norme NF A 35-016.

Fabrication

La fabrication des granulats de bois et des panneaux en béton de bois est réalisée dans les usines mentionnées dans le Dossier Technique. La fabrication de ces éléments fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité établi par le demandeur, garantissant une constance des performances des éléments fabriqués en usine.

Mise en œuvre

La mise en œuvre est effectuée conformément aux prescriptions du Dossier Technique par l'entreprise en liaison dès la phase de conception avec le fabricant des panneaux en béton de bois (titulaire et/ou licenciés) qui lui livre les panneaux accompagnés du plan de pose complet. La mise en œuvre du procédé fait également l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité établi par le titulaire.

(1) La description complète de la technique est donnée dans le dossier déposé au CSTB par le demandeur et enregistré sous le numéro ATEX 3044_V3 et dans le cahier des charges de conception et de mise en œuvre technique (cf. annexe 2) que le fabricant est tenu de communiquer aux utilisateurs du procédé.

ANNEXE 2

CAHIER DES CHARGES DE CONCEPTION ET DE MISE EN OEUVRE

Ce document comporte 213 pages.

Procédé Panneaux CS2

« Dossier technique établi par le demandeur »

Version tenant compte des remarques formulées par le comité d'Experts

Datée du 15 septembre 2022

A été enregistré au CSTB sous le n° d'ATEX 3044_V4

Fin du rapport

Dossier Technique d'ATEX de cas A

Panneaux porteurs CS2

CCB Greentech

515 route de Marcollin

38270 Beaurepaire

Dossier Technique

Version date du 15/09/2022

A. Description	5
1. Principe et domaine d'emploi des panneaux CS2.....	5
1.1. Présentation	5
1.2. Domaine d'emploi	6
1.3. Identification et marquage.....	6
2. Matériaux, produits et composants	7
2.1. Béton de granulats de bois et de ciments/chaux.....	7
2.2. Armatures acier : chaînages et renforts d'ouverture.....	8
2.3. Mortier	8
2.4. Béton de clavetage / chaînage et poteaux :.....	8
2.5. Ancrages de levage et de fixation	8
3. Description des panneaux CS2 et caractéristiques	9
3.1. Géométries de fabrication.....	9
3.2. Masse surfacique.....	9
3.3. Conception des panneaux CS2 – Règles de dessin	9
4. Conception d'un bâtiment en Panneaux CS2 et dispositions structurelles	10
4.1. Configurations possibles d'un bâtiment utilisant des panneaux CS2	10
4.2. Prise en compte des contraintes de l'implantation de la construction	12
4.3. Les fondations et dispositions en pieds de panneaux de RDC	12
4.4. Prise en compte de la catégorie de bâtiment et de la zone de sismicité – configurations possibles	14
4.5. Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2	15
4.6. Principes de conception et dispositions parasismiques.....	25
4.7. Liaisons avec les murs de rives CS2	43
4.8. Intégration des ouvertures et baies	44
4.9. Choix des complexes de murs / revêtements en fonction des expositions à la pluie et au vent	45
4.10. Cas particuliers	49

5.	Règles de conception des panneaux CS2	50
6.	Sécurité incendie.....	51
6.1.	Durées de résistance au feu	51
6.2.	Réaction au feu.....	51
6.3.	Dispositions de mise en œuvre dans le cas de l’Instruction technique IT249	51
7.	Fabrication et contrôles.....	52
7.1.	Fabrication du granulat de bois additivé.....	52
7.2.	Fabrication du béton de bois et des panneaux.....	52
7.3.	Tolérances de fabrication des panneaux CS2.....	54
7.4.	Procédures de contrôle	55
7.5.	Contrôles qualité externe.....	55
8.	Mise en œuvre du système constructif CS2 sur chantier	56
8.1.	Consignes générales	56
8.2.	Manutention et transport	56
8.3.	Chronologie des principales étapes de mise en œuvre	58
8.4.	Tolérances de mise en œuvre	60
8.5.	Sécurité.....	60
8.6.	Etanchéité à l’air du bâtiment.....	61
8.7.	Performances Thermiques	61
8.8.	Performances acoustiques	61
8.9.	Mise en œuvre des finitions extérieures.....	61
8.10.	Mise en œuvre des finitions intérieures	65
9.	Distribution & Assistance Technique	67
9.1.	Distribution.....	67
9.2.	Etudes techniques	67
9.3.	Assistance chantier.....	67
B.	Résultats expérimentaux.....	68
1.	Propriétés de résistance mécanique.....	68
2.	Propriétés de résistance et réaction au feu	70
3.	Sécurité intérieure	72

4.	Propriétés thermiques et comportement hygrothermique	72
5.	Propriétés acoustiques	74
6.	Etanchéité et diffusion de vapeur d'eau	74
7.	Propriétés de durabilité.....	75
C.	Références.....	77
1.	Données environnementales	77
2.	Sites de production licenciés.....	77
1.	Annexe n°1 : Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin.....	79
1.1.	Gestion d'un projet de conception de bâtiment en panneaux CS2	79
1.2.	Règles de conception des panneaux CS2	80
2.	Annexe n°2 : Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – Charges Maximales Utilisables - CMU 102	
3.	Annexe n°3 : Exemple de calcul de dimensionnement	105
D.	Description du bâtiment et hypothèses de calcul.....	105
E.	Descente de charges	106
F.	Dimensionnement vis-à-vis des charges verticales :	107
G.	Capacité de contreventement.....	109
4.	Annexe n°4 – Caractéristiques du matériau Béton de bois	111
5.	Annexe n°5 – Sécurité incendie	115
6.	Annexe n°6 : Notice de montage des panneaux CS2 de hauteur $\leq 3,3\text{m}$.....	116
7.	Annexe n°7 : Caractéristiques hygrothermiques des murs CS2 en béton de bois.....	126
8.	Annexe n°8 : Exemples de performances acoustiques.....	131
9.	Annexe 9 : Transport et stockage des panneaux TimberRoc.....	132
10.	Annexe n°10 : Dessins techniques du Dossier Technique	135
11.	Annexe n°11 : Procédure de pose des enduits à base minérale	163
10.	Annexe n°12 : Etudes de cas en principe constructif CS2	169

A. Description

1. Principe et domaine d'emploi des panneaux CS2

1.1. Présentation

Les panneaux CS2 sont destinés à la réalisation de murs porteurs et/ou à fonction de contreventement. Ils peuvent indifféremment être associés entre eux au sein d'un même bâtiment ou utilisés pour plusieurs des fonctions visées, en association avec des éléments de structure autres.

Les panneaux CS2 sont **des panneaux de murs préfabriqués** par l'usine de CCB Greentech à Beaurepaire 38 ou par des usines partenaires disposant de **la licence technologique TimberRoc (précédemment Lignoroc)**. Le process de fabrication est encadré par le présent dossier technique et par le document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc ». Les industriels licenciés s'engagent à respecter les processus de fabrication établis et à se conformer aux contraintes et exigences techniques énoncées dans ce dossier technique.

Ces panneaux préfabriqués se distinguent par :

La composition du matériau de base : mortier de granulats de bois et de ciment/chaux.

L'intégration éventuelle en préfabrication de certains éléments de renforts en béton armé tels que des portions de chaînage et des linteaux de renfort d'ouvertures.

Ces panneaux présentent des propriétés aptes à les rendre utilisables en voiles porteur et de contreventement.

La société CCB Greentech fournit aux sites de production de préfabrication le granulat bois additivé, spécifiquement qualifié pour la fabrication du béton de bois et la fabrication des panneaux CS2.

Ces panneaux sont obtenus par un procédé de moulage qui permet de fabriquer des parois de dimensions variées et adaptées à la construction visée.

Assemblés par des chaînages en béton armé, ces panneaux sont destinés à être mis en œuvre en mur structurel pour l'enveloppe extérieure des bâtiments et pour les murs de refends.

Les panneaux supportent l'ensemble des sollicitations mécaniques, à savoir charges verticales et horizontales (contreventement et sollicitations hors plan) et permettent la stabilité au feu de l'ouvrage. Des chaînages verticaux et horizontaux assurent au bâtiment un comportement parasismique et de maintien aux efforts thermiques. Ces chaînages peuvent reprendre localement des efforts modérés. Sur certaines zones singulières, des poteaux ou poutres en béton armé peuvent compléter la structure afin de reprendre des charges qui seraient trop élevées pour les murs CS2 seuls.

Les panneaux CS2 sont destinés à recevoir, sur chantier :

- Des parements intérieurs :
 - doublage intérieur (tasseaux bois ou rails métallique et plaque de plâtre),
 - contre-cloison désolidarisée (ossature métallique, laine minérale et plaque de plâtre),
 - plaques de plâtre avec isolant en pose collée
- Des revêtements extérieurs :
 - enduit minéral avec joints apparent ou non,
 - bardage ventilé sur ossature bois ou métallique, avec ou sans ITE,
 - système d'ETICS,
 - finition directe colorée ou non de type béton lisse avec apprêt hydrofuge.

1.2. Domaine d'emploi

Le domaine d'emploi revendiqué concerne :

- Des bâtiments neufs comportant au maximum 4 niveaux (R+3), de type :
 - Bâtiments d'habitation : maisons individuelles ou bâtiments collectifs de 1^{ère} et 2^{ème} famille (R+3).
 - Bâtiments à usage non résidentiel de catégorie d'importance de I à IV.
 - Etablissements recevant du public (ERP) de catégories 1 à 5 et isolés des tiers (articles CO 6 à CO 10 de l'arrêté du 25 juin 1980)
 - Bâtiments industriels ou agricoles de hauteur limité à 8m.
- Des constructions en surélévation de 3 niveaux maximum sur des bâtiments de 1^{ère} famille, 2^{ème} famille et 3^{ème} famille en béton armé après vérification des capacités de la structure existante, des reprises de charges et des reprises de chaînage. La hauteur totale du bâtiment avec la surélévation ne doit pas dépasser 28 mètres au niveau du plancher bas du dernier niveau. Le dernier niveau en béton de bois CS2 peut accueillir un attique si les vérifications de structure le permettent.

Situés en France métropolitaine (inclus la Corse) pour les zones sismiques de 1 à 4, les zones de neige de A1 à E et toutes les zones de vents. L'utilisation à moins de 1000 mètres du front de mer est exclue.

Limitation en dimensions des murs :

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.

Les panneaux ne sont pas destinés à être utilisés en mur enterrés.

La pose inclinée n'est pas visée.

Les panneaux CS2 en béton de bois ne peuvent être seuls considérés comme des poutres voile.

Le domaine d'emploi est limité :

- aux locaux à faible ou moyenne hygrométrie EA et EB pour lesquels $W/n < 5g/m^3$
- aux locaux à forte hygrométrie EB+ Privatifs pour lesquels $W/n < 7,5g/m^3$

Avec, au sens du Cahier du CSTB n°3567:

- W : quantité de vapeur d'eau produite à l'intérieur d'un local par heure, exprimée en grammes par heure (g/h)
- n : le taux horaire de renouvellement d'air exprimé en mètres cube par heure (m^3/h)

Cela comprend les locaux, normalement ventilés et chauffés, classés EA et EB comme les chambres, les locaux de bureaux, les couloirs, les cuisines, celliers, WC et les locaux classés EB+ Privatifs tels que les salles de bain, hôtels, sanitaires de bureau...

Pour les autres locaux à très forte hygrométrie de type EB+ Collectifs et EC, une étude hygrométrique spécifique devra être réalisée au cas par cas par un bureau d'études / laboratoire.

1.3. Identification et marquage

Un dossier d'étude est constitué pour chaque projet de construction ; ce dossier comporte une liste des données spécifiques à l'étude et d'identification du procédé constructif CS2, reprise par un étiquetage sur les panneaux CS2 à la livraison.

Cette identification comporte les éléments suivants pour chaque panneau produit :

- Nom et coordonnées du site de production
- Référence des agréments techniques
- Numéro / référence de dossier ou d'affaire

- Numéro panneau et référence Plan
- Type de panneaux Porteur CS2
- Nom du projet ou chantier
- Formulation béton de bois F800
- Date de fabrication
- Masse du panneau
- Dimensions caractéristiques du panneau

2. Matériaux, produits et composants

Les matériaux et composants entrant dans la composition ou la mise en œuvre des panneaux CS2 sont :

- Béton de granulats de bois
- Armatures acier
- Mortier
- Béton de clouage ou de structure
- Ancrages métalliques pour le levage des panneaux

2.1. Béton de granulats de bois et de ciments/chaux

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

- granulat de bois résineux broyés,
- additifs minéraux - chaux,
- ciment CE ou NF de type CEM I, CEM II ou CEMIII d'indice 42,5 ou 52,5,
- eau.

Le béton de bois mis au point par la société CCB Greentech appartient à la famille des bétons légers à matrice cimentaire et charges végétales de forme granulaire à destination de produits préfabriqués.

Le granulat de bois est obtenu à partir de billons de bois brut résineux ou de chutes de scieries, provenant de France, écorcés et broyés. Il est fabriqué par le groupe CCB Greentech ou ses filiales. Le granulat de bois reçoit ensuite un traitement de minéralisation.

Ce granulat est commercialisé sous le nom de « granulat **TimberRoc** F800 » auprès des usines partenaires ayant contractualisées la licence technologique **TimberRoc**.

Les usines de préfabrication ont ensuite la charge de la réalisation du béton de bois en suivant la formulation communiquée dans le document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc ». L'eau et le ciment sont ajoutés au granulat bois dans le malaxeur.

Les caractéristiques principales du béton de bois TimberRoc sont les suivantes :

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)	18.10^{-6} (K ⁻¹)	0,108MJ/kg (en 24cm)

Tableau DT01 : Caractéristiques principales du TimberRoc F800

NOTA :

- Les caractéristiques mécaniques du béton de bois TimberRoc F800 sont détaillées dans l'**Annexe n°4 « Caractéristiques techniques du matériau béton de bois »**.
- La valeur de la conductivité thermique du béton de bois est issue des règles TH-Bat.

2.2. Armatures acier : chaînages et renforts d'ouverture

Les panneaux CS2 sont assemblés avec des chaînages incorporant des armatures préfabriquées HA en acier de nuance Fe E 500 conformes aux normes NF A 35 015 et NF 35 016.

Les poteaux et poutres complémentaires nécessaires au projet sont en béton armé dont la classe de béton est définie par le bureau d'étude structure de l'opération et dont les armatures sont soit standards, soit façonnées selon la note de ferrailage du bureau d'étude structure de l'opération.

Les armatures sont façonnées de manière à respecter les formes prévues par les dessins d'exécution.

Les modes de coupes et de cintrages des armatures suivront scrupuleusement les indications portées sur les plans de production.

2.3. Mortier

Pour la pose des panneaux sur la semelle de la dalle, un mortier est utilisé, conforme à la norme NF EN 998-2 pour une utilisation en montage de murs en intérieur et en extérieur conformément au DTU 20.1.

Ce mortier assure une adhérence mécanique et une étanchéité à l'air en pied des panneaux.

Ce mortier préparé et mis en œuvre sur le chantier est de type Porocol Block de MAPEI ou de type mortier renforcé 350 WEBER ou équivalent. Il faut compter environ 2kg de mortier préparé pour 1ml de panneau en 24cm d'épaisseur.

Ce mortier a les caractéristiques suivantes : Résistance en adhérence de minimum 0.3 N/mm².

2.4. Béton de clavetage / chaînage et poteaux :

Le béton est un Béton Prêt à l'Emploi, conforme au projet et à la norme NF EN 206-1.

Les caractéristiques minimales du béton de remplissage sont les suivantes, sauf indication contraire du Bureau d'Etudes Structure en charge du projet :

- Classe de résistance C25/30
- Classe d'affaissement S4
- Diamètre maximum des granulats du béton égal à 12mm.

2.5. Ancrages de levage et de fixation

Des ancrages de levage sont disposés à mi-épaisseur du panneau lors de la phase de coulage du béton de bois, en dessous du niveau de l'arase haute du panneau.

Ces ancrages sont fournis par CCB Greentech ou fabriqués par les partenaires licenciés en conformité avec le présent document Technique. Le nombre d'ancrages de levage est déterminé par la dimension et le poids des panneaux.

Après assemblage des panneaux sur chantier ces dispositifs sont masqués et ne sont plus accessibles.

Les ancrages sont forgés et soudés en acier doux de nuance Re 235 de diamètre 12 mm minimum. Il existe différents types d'ancrage en fonction de la géométrie du panneau préfabriqué.

La largeur et la position de la partie saillante des ancrages sont telles que le crochet de l'élingue ne porte pas sur les parois en tête du panneau.

Les résistances CMU (Charge Maximale d'utilisation) des différents ancrages et leurs plans sont présentés dans l'annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – CMU ».

3. Description des panneaux CS2 et caractéristiques

3.1. Géométries de fabrication

Les dimensions de fabrication des panneaux CS2 sont :

- Longueurs : de 40 cm à 800 cm (fonction du mode de transport et/ou de la longueur du bâtiment),
- Hauteurs : de 40 à 380 cm,
- Epaisseur des panneaux intérieurs ou refends : 20 cm à 40 cm,
- Epaisseur des panneaux de rive : de 24 cm à 40 cm.
- Dimensions maximums des ouvertures intégrées : 300cm * 270cm (Largeur * Hauteur)

Les panneaux peuvent pour certains projets avoir :

- La face supérieure inclinée : pignons de toiture ou acrotères avec pente.
- Un côté incliné pour réaliser des assemblages d'angles non droits.

3.2. Masse surfacique

Le tableau ci-dessous présente le poids surfacique des panneaux CS2 :

Epaisseur des panneaux PLEINS (cm)	Poids (Kg/m ²) moyen (Masse volumique de 800kg /m ³)	Poids (Kg/m ²) majoré (Masse volumique +20%)
20	160	192
24	192	230
28	224	269
30	240	288
34	272	326
40	320	384

Tableau DT02 : Poids surfacique des panneaux pleins CS2

Pour le transport et le levage il est conseillé de travailler avec le poids majoré (calculé avec +20%).

3.3. Conception des panneaux CS2 – Règles de dessin

Les spécificités propres du béton de bois TimberRoc nécessitent des règles de conception des panneaux CS2 vis-à-vis de leur utilisation dans le procédé constructif global.

L'ensemble des règles à suivre sont détaillées dans l'**annexe n°1 « Conception des panneaux CS2 – règles techniques de dessin »**, en particulier :

- Les jeux de montage et les principes de calepinage des panneaux,
- Les dimensions possibles générales, des réservations et des planelles intégrées,
- Les dimensions et les configurations des ouvertures,
- Les encadrements de baies.

4. Conception d'un bâtiment en Panneaux CS2 et dispositions structurelles

4.1. Configurations possibles d'un bâtiment utilisant des panneaux CS2

Les panneaux de rive sont en épaisseur 24cm minimum. L'épaisseur maximum est de 40cm.

Figures A00 - Plusieurs utilisations des panneaux CS2 sont possibles :

Utilisation 1 : Bâtiment R+3 maximum

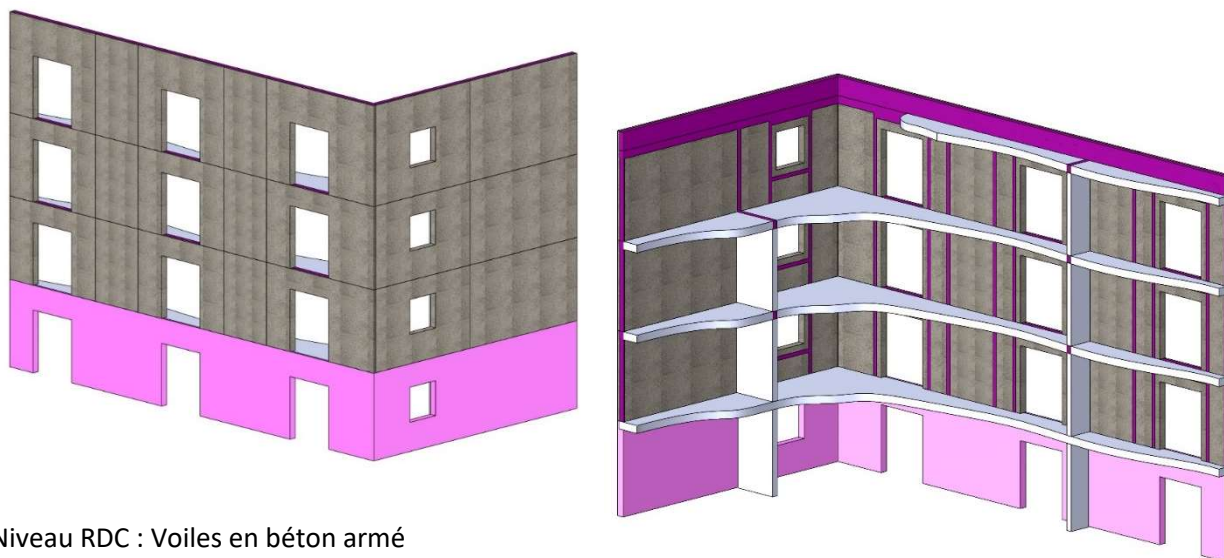


Tous les niveaux en CS2

Niveau RDC : Panneaux CS2 30cm ou épaisseur max 40cm

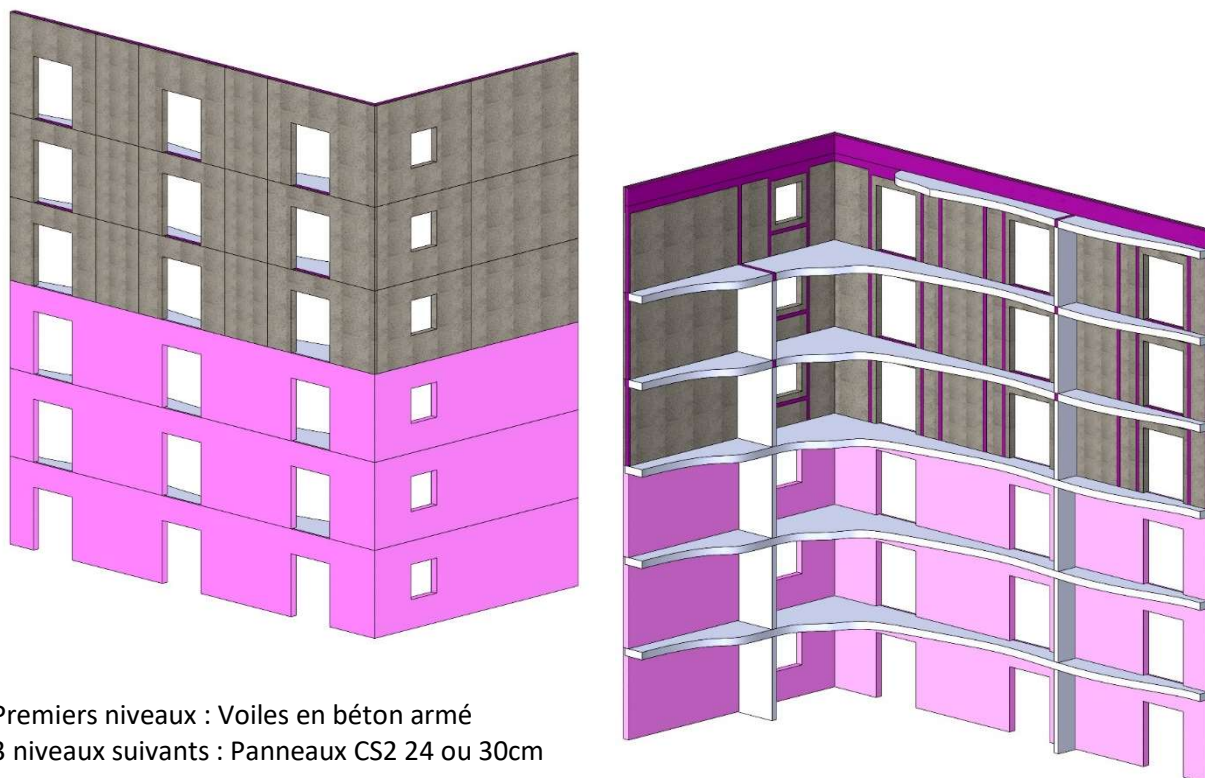
Niveaux courants : Panneaux CS2 24 ou 30cm ou épaisseur max 40cm

Utilisation 2 : Bâtiment R+3 maximum

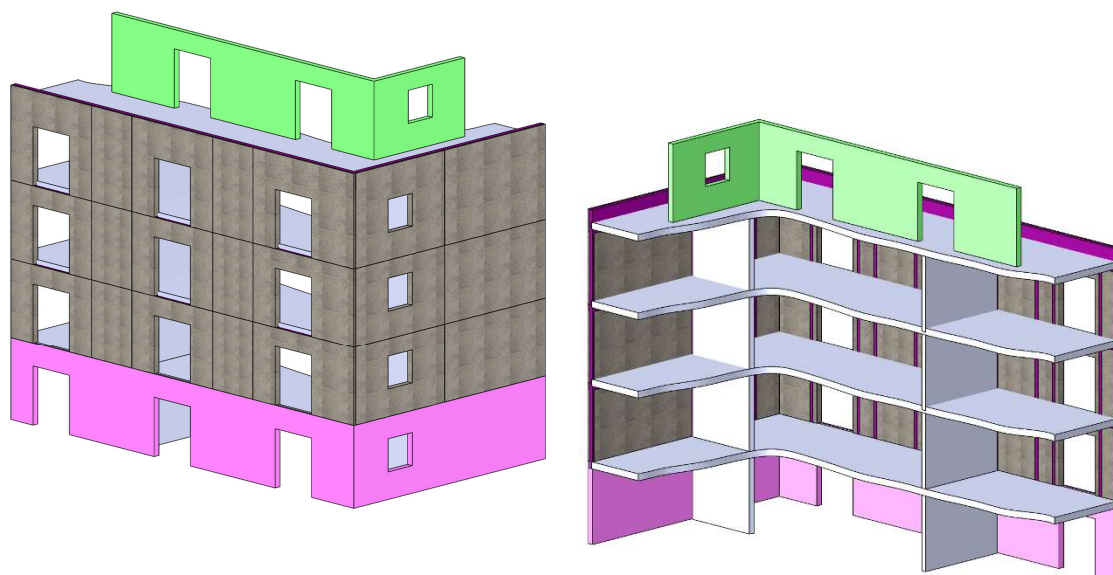


Niveau RDC : Voiles en béton armé

Niveaux courants : Panneaux CS2 24 ou 30cm ou épaisseur max 40cm

Utilisation 3 : Bâtiment avec surélévation en CS2 – dernier niveau à 28m pour le plancher bas

Premiers niveaux : Voiles en béton armé
3 niveaux suivants : Panneaux CS2 24 ou 30cm

Utilisation 4 : Bâtiment avec surélévation en CS2 + dernier niveau en attique

Premiers niveaux : Voiles en béton armé
3 niveaux suivants : Panneaux CS2 24 ou 30cm
Attique en dernier niveau

4.2. Prise en compte des contraintes de l'implantation de la construction

Une étude de sol est nécessaire avant toute conception d'un bâtiment quelque qu'il soit, afin de préciser les qualités mécaniques et hydrologiques du sol et d'en tenir compte pour la conception des fondations et des dallages. L'étude de sol sera exploitée par le Bureau d'études Structure de l'opération pour la conception de l'ensemble de l'ouvrage. [En fonction des caractéristiques du sol et du NF DTU 20.1, des dispositions spécifiques peuvent être nécessaires.](#)

4.3. Les fondations et dispositions en pieds de panneaux de RDC

4.3.1. Les fondations

Le système de fondations doit être défini pour chaque projet sur la base de l'étude de sol. La descente de charges du bâtiment au niveau des fondations conditionne leur dimensionnement (sections béton, armatures métalliques, ...).

Pour un projet en panneaux CS2, les types de fondation possibles sont :

- Fondation sur semelles – avec/sans vide sanitaire,
- Radier sur toute la surface – souvent utilisé quand la portance du sol est faible,
- Puits ou pieux avec longrines béton – pour rechercher le sol résistant en profondeur.

4.3.2. Vide sanitaire et soubassement

Un vide sanitaire peut être employé sur tous les types de terrains, il met la construction à l'abri des remontées d'eau et des dégâts dus à l'humidité. Il doit être réalisé conformément au NF DTU 23.5. Le plancher est réalisé suivant des techniques traditionnelles de type planchers béton, planchers poutrelles/entrevous ou de planchers nervurés béton préfabriqués.

Les murs enterrés ou semi-enterrés d'un vide sanitaire ne peuvent pas être en panneaux CS2, mais en béton ou blocs de maçonnerie.

4.3.3. Dispositions en pieds de mur extérieur

La première assise des murs ne dépasse pas de plus de 20 mm le bord d'un plancher ou d'une fondation.

Voir : Figure A01 – Débord assise des murs TimberRoc

Afin de réduire les risques liés aux remontées d'humidité par capillarité et au rejaillissement en pied des parois en béton de bois, les dispositions ci-dessous doivent être mises en œuvre.

Dans le cas de maçonneries en soubassement :

- Si les murs de soubassement sont de catégorie 1 (selon le DTU 20.1 P3 – 5.2)

Les murs de soubassement en maçonnerie de catégorie 1 devant être étanchés conformément au 5.2.3 du NF DTU 20.1 P3 – 5.2. La mise en œuvre d'une coupure de capillarité n'est pas exigée.

- Si les murs de soubassement sont de catégorie 3 ou 2 (selon le DTU 20.1 P3-5.2)

Lorsque les murs de soubassement sont en maçonnerie de petits éléments, les murs en panneaux CS2 en élévation doivent être protégés des remontées d'eau du sol.

- Solution 1 : Un chaînage en béton armé disposé au niveau du plancher bas du rez-de-chaussée ou du dallage, sur toute l'épaisseur des maçonneries de soubassement (donc sans planelle), assure cette protection sans disposition complémentaire. Ce chaînage doit être à l'air libre et au minimum à 5 cm au-dessus du sol extérieur fini.

Voir : Figure A02 : Disposition anti-capillarité – solution 1 avec chaînage béton armé

- Solution 2 : En l'absence de la disposition précédente, il doit être prévu une coupure de capillarité disposée à 15 cm au moins au-dessus du niveau le plus haut du sol définitif extérieur. Cette coupure de capillarité est exécutée à l'aide d'une chape de mortier hydrofugé de ciment.

Voir : Figure A03 : Disposition anti-capillarité – solution 2 avec chape de mortier hydrofuge

Dans le cas de murs de soubassement en béton armé ou en bloc de béton à bancher de hauteur minimum 20cm, les murs en béton de bois en élévation sont protégés des remontées d'eau par le sol. Les murs en béton de bois en élévation doivent alors débiter au minimum 5 cm au-dessus du niveau fini du sol extérieur.

Voir : Figure A04 : Disposition anti-capillarité – solution avec soubassement en béton armé

Quelle que soit la disposition choisie, celle-ci doit assurer également une mise à niveau précise, avec un devers inférieur à 1cm pour 10 mètres linéaires. Cette exigence est plus contraignante que le NF EN 13670 : elle doit être vérifiée au cordeau ou au niveau laser.

La chape de mortier est une solution recommandée pour répondre à la coupure de capillarité et la mise à niveau. Sur une hauteur moyenne de 3cm environ et une largeur correspondant à l'épaisseur des panneaux CS2, on utilise un mortier de ciment fortement dosé à raison de 500 à 600 kg/m³ de sable sec 0/2 ou 0/4, additionné d'hydrofuge de masse.

Il est possible d'utiliser un mortier performantiel d'imperméabilisation $M \geq 15$ et de capillarité $C \leq 0.5$ kg/(m².mn^{0.5}) ou un mortier de recette défini par le NF DTU 20.1.

La planéité d'ensemble rapportée à la règle de 2m doit être inférieure à 5mm, il s'agit d'une finition soignée selon le NF DTU 21.

La mise en œuvre d'un drainage périphérique doit suivre les règles du DTU 20.1.

4.3.4. Protection contre les termites

Il convient de prévenir la présence des termites dans les bâtiments pour éviter la dégradation notamment des charpentes, des menuiseries ou toute autre partie en bois de la construction.

Les zones géographiques contaminées par les termites ou susceptibles de l'être à court terme sont définies par arrêté préfectoral : Lorsque dans un département, l'arrêté préfectoral ne concerne pas la totalité du territoire mais seulement une ou plusieurs communes, les mesures anti-termites s'appliquent à l'ensemble du département.

Dans les zones délimitées par un arrêté préfectoral, les bâtiments neufs doivent être protégés contre l'action des termites. A cet effet doit être mis en œuvre une barrière de protection entre le sol et le bâtiment ou un dispositif de construction dont l'état est contrôlable.

- Dispositif de construction contrôlable : En France métropolitaine uniquement, faire en sorte que toutes les surfaces intérieures et extérieures des parois à l'interface sol-bâti (Murs de façade, refends, sous-faces de planchers, passages de gaines, tuyaux, ...) soient contrôlables directement et régulièrement et s'assurer que les termites ne peuvent pas remonter dans le bâtiment par l'épaisseur des murs verticaux en contact avec le sol (façades et refends). Un vide sanitaire est considéré comme contrôlable lorsqu'il possède un accès de surface minimale 0,6m², de largeur minimum de 0,6m et une hauteur libre de minimum 0.6m en maison individuelle et de 1,3m pour les autres bâtiments.

Figure A05 : Protection contre les termites – schéma de principe avec parois contrôlables

- Barrières de protection entre le sol et le bâtiment : Créer des barrières physiques ou physico-chimique continues rejoignant les surfaces extérieures visibles sur tout le périmètre du bâtiment ce que permettent de nombreux systèmes constructifs en béton, reconnus comme barrières physiques pouvant s'opposer durablement au passage des termites.

Figure A06 : Protection contre les termites – schéma de principe avec barrière continue

L'article R.131-2 du code de la Construction et de l'Habitation et son décret du 30 juin 2021 précisent les exigences et les dispositifs de type barrière anti-termites.

4.4. Prise en compte de la catégorie de bâtiment et de la zone de sismicité – configurations possibles

Pour tout projet, il est nécessaire d'identifier la catégorie du bâtiment à réaliser selon l'arrêté du 22 octobre 2010. La gestion de la conception se fait alors selon les prescriptions indiquées dans le tableau ci-dessous pour la prise en compte des dispositions parasismiques à adopter :

Catégorie d'importance	Description	ZONE 1 Très faible	ZONE 2 Faible	ZONE 3 Modéré	ZONE 4 Moyen		
CATEGORIE 1	Bâtiments dans lesquels il n'y a aucune activité humaine nécessitant un séjour de longue durée.	Aucune exigence sismique ¹ A					
CATEGORIE 2	Habitations individuelles (règles PS-MI applicables) ²					PS-MI ² B	PS-MI ² C
	Habitations individuelles (règles PS-MI non applicables) ² ERP de catégorie 4 et 5 Habitations collectives de hauteur inférieure à 28 m. Bureaux ou établissements commerciaux non ERP, h< 28 m, max.300 pers. Bâtiments industriels < 300 personnes. Parcs de stationnement ouverts au public.						
CATEGORIE 3	ERP de catégories 1, 2 et 3. Habitations collectives et bureaux h>28 m. Bâtiments > 300 personnes. Établissements sanitaires et sociaux. Centre de production collective d'énergie. Établissements scolaires.	EC8 D	EC8 E	EC8 F			
CATEGORIE 4	Bâtiments indispensables à la sécurité civile, la défense nationale et le maintien de l'ordre public. Bâtiments (maintien des communications, production et stockage d'eau potable, distribution publique de l'énergie.) Bâtiments assurant le contrôle de la sécurité aérienne. Établissements de santé nécessaires à la gestion de crise. Centres météorologiques.						

¹) Application des dispositions de base selon les DTU 20.1 et Eurocodes 6

²) Voir critères liés au domaine d'application et dispositions concernant la conception selon le PS-MI

Tableau DT03 : Classification des configurations de bâtiments vis-à-vis du système constructif CS2.

Configuration A : Dispositions spécifiques en paragraphe 4.5.2

La catégorie du bâtiment et la zone de sismicité n'engendrent aucune exigence sismique obligatoire à appliquer et aucune exigence d'analyse du comportement sismique du bâtiment. Les dispositions minimums et préconisées sont propres au procédé constructif CS2.

Configurations B et C : Dispositions spécifiques en paragraphe 4.5.3

Ces configurations correspondent à des constructions de type Maisons Individuelles, répondant aux critères des règles PS-MI, réalisées en zones de sismicité 3 et 4. Les dispositions minimums sont propres au procédé constructif CS2 tout en étant basées sur les règles PS-MI. Aucune exigence d'analyse du comportement sismique du bâtiment est requise.

Configurations D, E et F : Dispositions spécifiques en paragraphe 4.5.4

Ces configurations correspondent à une combinaison de catégorie et de zone de sismicité qui engendre des exigences à appliquer en tenant compte de l'Eurocode 8 et une exigence d'analyse du comportement sismique du bâtiment. Les dispositions sont propres au procédé constructif CS2 et dépendent également des caractéristiques de l'ouvrage et du sol.

4.5. Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2**4.5.1. Principes de dimensionnement***Fonctionnement structural*

Le système constructif CS2 est composé de panneaux de murs TimberRoc préfabriqués et de chaînages verticaux et horizontaux en béton armé. La stabilité structurale de l'ouvrage est assurée par la collaboration des panneaux de béton de bois confinés dans les chaînages.

- Panneaux de mur en béton de bois CS2 TimberRoc

Les panneaux de mur CS2 TimberRoc reprennent les efforts verticaux et horizontaux. Les efforts verticaux (principalement le poids propre des planchers et les charges d'exploitation) sont appliqués en tête de mur via les chaînages horizontaux et sont transmis aux étages inférieurs puis aux fondations. Il y a deux types d'efforts horizontaux : soit ils sont appliqués dans le plan du mur, soit ils sont appliqués perpendiculairement au plan du mur. Les efforts appliqués dans le plan du mur (transmis en tête de mur par l'effet diaphragme du plancher) sont retransmis aux étages inférieurs puis aux fondations : c'est la fonction de contreventement. Les efforts horizontaux perpendiculaires au plan du mur font appel à la résistance en flexion et au cisaillement du mur pour être retransmis aux éléments résistants qui assurent le contreventement dans la direction de l'effort appliqué.

- Les chaînages verticaux et horizontaux

Le rôle des chaînages est de ceinturer les panneaux de murs et les planchers afin d'assurer le monolithisme de la structure et de limiter d'éventuelles rotations d'origine thermique ou mécanique. En complément, les chaînages verticaux permettent de s'opposer au soulèvement dans les angles des dalles de planchers. Afin d'assurer leurs fonctions, les chaînages verticaux et horizontaux doivent être liaisonnés entre eux et aux fondations. Toute discontinuité, pour pratiquer des ouvertures par exemple, peut menacer la solidité et la stabilité de la construction.

Analyse structurale dans le cadre des Eurocodes

Stabilité d'ensemble et parties courantes d'ouvrage

La stabilité d'ensemble de l'ouvrage doit être vérifiée en s'assurant que les parties courantes de l'ouvrage sont aptes à reprendre des efforts verticaux et des combinaisons d'efforts verticaux et horizontaux qui s'appliquent. Ces vérifications sont conduites à l'Etat Limite Ultime.

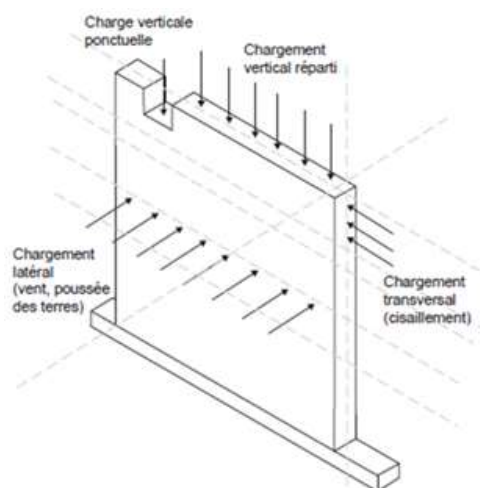


Figure A07-1 : Types de chargements appliqués sur les murs

Points singuliers

Les points singuliers à vérifier (charge concentrée, linteau de porte/fenêtre, encadrement de baie) sont les mêmes que pour les ouvrages en maçonnerie traditionnelle.

Séisme – Configurations D, E et F

La vérification au séisme se fait en deux étapes :

- 1) Analyse structurale du bâtiment complet pour déterminer la répartition des efforts entre les différents éléments participant au contreventement. Dans cette étape, le module de Young spécifique du béton de bois TimberRoc est à considérer.

Les paramètres à considérer pour cette analyse sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Module d'élasticité E_y	Les articles (6) et (7) du paragraphe 4.3.1 de l'Eurocode 8 préconisent de prendre $E/2$ pour l'analyse sismique, soit : $E_y = 1000 \text{ Mpa}$
Coefficient de comportement * q	Pour un bâtiment uniquement en panneaux CS2, on prendra : $q = 2,5$ (classe DCM) Pour un bâtiment mixte en panneaux CS2 / voiles béton armé, on prendra sans justification particulière : $q = 1,5$ (classe DCL) <i>Pour des valeurs supérieures, apporter les justifications demandées dans l'Eurocode 8</i>

Tableau DT04 : Tableau des paramètres de l'analyse structurale

**Les coefficients de comportement ci-dessus sont valables uniquement si la mise en œuvre des chaînages suit les dispositions détaillées en parties 4.6.2, 4.6.3 et 4.6.4 du dossier technique, ces dispositions s'appuyant sur l'Eurocode 8 et les essais de caractérisation.*

- 2) Vérification de la capacité de résistance de chaque élément. On se réfère pour cela au paragraphe ci-après « Dimensionnement à l'ELU ».

4.5.2. Dimensionnement à l'état limite ultime (ELU)

Valeurs de calcul à retenir pour le dimensionnement à l'ELU

Les valeurs de calcul à retenir pour le dimensionnement à l'ELU des ouvrages CS2 sont données dans le tableau ci-dessous.

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

Mur soumis principalement à un chargement vertical réparti

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

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 :

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

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

Avec :

- e_i : excentricité totale en tête ou pied de mur,
- t : épaisseur du mur,

Et :

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

Avec h_{ef} hauteur effective du mur déterminée selon 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.

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

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

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 – $h_{ef} = h$		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 – $h_{ef} = 0,75 h$		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

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).

Les tableaux suivants donnent la charge admissible en kN/ml pour le cas où $h_{ef} = 0,75 h$.

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

Pour le cas de murs superposés décrits au §4.10.1 - sans plancher intermédiaire (coefficient d'élançement > 15); il conviendra d'effectuer la même méthode de calcul que ci-dessus en intégrant l'excentricité supplémentaire e_k liée au fluage.

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

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

L'expression de l'excentricité due au fluage e_k , est rappelée ci-après.

$$e_k = 0,002 \phi_{\infty} \frac{h_{ef}}{t} \sqrt{te_m}$$

Avec

- h_{ef} : hauteur effective du mur,
- t : épaisseur du mur,
- e_m : excentricité due aux charges,
- ϕ_{∞} : coefficient de fluage, il est pris égal à 1,9

Le tableau ci-dessous présente un exemple d'application de la méthode incluant la prise en compte de l'excentricité supplémentaire liée au fluage (avec l'hypothèse que $h_{ef} = h$), pour 2 murs superposés (sans plancher intermédiaire) de hauteur totale de 6m.

Hauteur = 6 m		NRd - charge centrée [kN]	NRd - charge excentrée [kN]
épaisseur [m]	0,24	135	16
	0,3	229	59

Mur soumis à des charges concentrées

La méthode à utiliser ne diffère pas de celle du paragraphe §6.1.3 de la référence [EC6-1]

Murs soumis à un chargement latéral et vertical

Dans les cas où la méthode simplifiée s'applique, la résistance à un chargement latéral est réputée vérifiée par le respect d'une condition d'épaisseur minimale du mur. Cette condition est donnée au § 4.2.1.2 de [EC6-3]. Dans les cas où une vérification en flexion doit être menée selon le paragraphe [EC6-1 § 6.3.1] « Mur de maçonnerie non armé soumis à un chargement latéral », avec la formule :

$$M_{Rd} = f_{xd}Z$$

Où Z est le module d'inertie de la section d'une unité de hauteur ou de longueur du mur, on prendra :

$$f_{xd} = f_{xk}/\gamma_M$$

Avec :

- γ_M : Coefficient de sécurité du béton de bois TimberRoc

Dimensionnement vis-à-vis des efforts horizontaux – contreventement [au séisme et vent](#)

Deux modèles de résistance sont proposés au choix du bureau d'études structure pour le dimensionnement d'un bâtiment avec des panneaux en béton de bois chaînés vis-à-vis des efforts horizontaux, qui relèvent chacun de deux corpus réglementaires distincts :

- **Approche bielle-tirant** (d'après règles PS92 + DTU 20.1)
- **Approche flexion composée avec effort axial** (d'après règles EC2, EC6 et EC8)

Ces deux modèles prennent chacun en compte l'excentrement des chargements à l'aide de coefficients de réductions.

Approche bielle-tirant

- Contraintes géométriques

Conformément aux règles PS92 [3], on adopte les critères géométriques suivants pour l'application du modèle bielle-tirant :

- Dimensions entre chaînages parallèles inférieures ou égales à 5 m
- Inclinaisons des bielles limitées entre ½ et 2 (les panneaux ne respectant pas ces critères sont considérés comme des éléments secondaires)

- Vérification

Conformément au DTU [4] et aux §12.2.3.1.2.1 des règles PS92 [3], on considère une contrainte admissible dans la bielle égale à :

- Pour l'action du vent : $C = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{f_k}{N}$
- Pour l'action sismique : $C = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{f_k}{0.5 \times N}$

Avec :

- N : coefficient global de réduction, pris systématiquement égal à 8 pour tenir compte de l'excentrement des chaînages
- C : contrainte admissible dans la bielle

La contrainte σ appliquée à la bielle est prise égale à :

$$\sigma = \frac{F}{e \times w}$$

Avec :

- F, selon le cas considéré : effort de vent (valeur nominale, non pondérée) ou effort sismique (pondération ELU) agissant dans la bielle,
- e : épaisseur du remplissage
- w : largeur de la bielle prise égale à $w = \min(d/6 ; 4e)$ avec d la longueur de la bielle (diagonale du panneau)

La vérification de la contrainte dans la bielle doit être complétée par une vérification de la contrainte dans les aciers du chaînage en traction.

Approche en flexion composée

Cette approche est décrite dans les règles EC6 [5] et préconisée par le Guide AFPS des règles parasismiques simplifiées applicable à des bâtiments courants (AFPS [7]).

- Contraintes géométriques

Conformément aux critères de l'EC8 [6], on adopte les critères géométriques suivants pour l'application de l'approche en flexion composée :

- Dimensions entre chaînages parallèles inférieures ou égales à 5 m (§9.5.3 (3))
- $(l/h)_{\min} = 0,4$
- $(h_{ef}/t_{ef})_{\max} = 20$

- Vérifications

L'approche en flexion composée consiste à :

1. Vérifier les aciers en traction dans les chaînages et la compression dans le remplissage en considérant l'équilibre de la section en pied de béton de bois chaîné vis-à-vis de l'effort de flexion créé par l'effort horizontal composé avec l'effort axial apporté par la descente de charge.
2. Vérifier la capacité de la même section à reprendre l'effort tranchant

- La vérification des chaînages verticaux est basée sur une vérification en flexion composée du mur composite (chaînages + remplissage béton de bois). La loi de comportement du béton de bois est représentée par un diagramme rectangulaire.

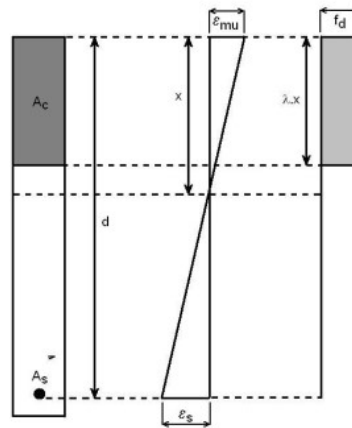


Figure A07-2 : Relation contrainte-déformation du remplissage – diagramme rectangle

Pour déterminer la longueur comprimée du mur, il faut tout d'abord calculer le moment M_A s'exerçant à l'extrémité « A » du mur (coté acier tendu) :

$$M_A = N_{Ed} \times \frac{l}{2} + V_{Ed} \times z_v$$

Avec :

- N : effort vertical s'appliquant sur le bas du mur ;
- V_{Ed} : effort horizontal appliqué en tête de mur ;
- l : longueur du mur,
- z_v : hauteur du centre d'application de l'effort horizontal.

On obtient ensuite la longueur comprimée l_c du mur par :

$$l_c = l \times \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times M_A}{f_d \times \Phi_p \times l^2 \times t}} \right)$$

Avec :

- M_A : moment de flexion défini plus haut,
- f_d : résistance de calcul à la compression du mur,
- Φ_p : coefficient de réduction de la résistance à la compression calculé en pied du mur, pris égal à 0,6 pour les murs de façade et 0,8 pour les murs de refend
- t : épaisseur du mur.

L'allongement des aciers ε_s est donné par :

$$\varepsilon_{sy} = \varepsilon_{mu} \times \frac{l - 1,25 \times l_c}{1,25 \times l_c}$$

Avec :

- l est la longueur du mur,
- l_c est la longueur comprimée du mur,
- ε_{mu} est la déformation ultime du béton de bois (prise égale à 3,5‰).

La section d'acier du chaînage vertical A_{CV} s'exprime par :

$$A_{CV} = \frac{\frac{M_A}{l - 0,5 \times l_c} - N_{Ed}}{f_y} \times \max\left(\frac{f_y}{\varepsilon_s \times E_y}; 1\right)$$

Avec :

- M_A est le moment repris par les aciers verticaux (Équation 5 – 8),
- l est la longueur du mur,
- l_c est la longueur comprimée du mur (Équation 5 – 5),
- N_{Ed} est l'effort normal appliqué au sommet du mur dû aux étages supérieurs,
- f_y est la limite d'élasticité de l'acier, E_y est le module d'élasticité de l'acier ($E_y = 200\,000$ MPa),
- ε_s est l'allongement de l'acier

➤ la capacité de la section à reprendre l'effort tranchant est vérifiée à l'aide de la formule :

$$V_{Rd} = (f_{vk0_M} \times t \times l + 0,4 \times N_{Ed}) \times \frac{1}{\gamma_M}$$

Avec :

- t : épaisseur du panneau de contreventement
- l : longueur du panneau de contreventement,
- f_{vd} : résistance initiale au cisaillement $f_{vk0_M} = 0,38$ MPa

On vérifiera en complément l'inégalité :

$$V_{Rd} \leq 0.34 \times v \times f_d \times t \times l$$

A titre d'exemple, le tableau ci-dessous donne les valeurs obtenues par l'approche en flexion composée pour différentes dimensions et chargements verticaux.

Hauteur [m]	Longueur [m]	L/H	V _{Rd} [kN]		
			$\sigma = 0$ MPa	$\sigma = 0.4$ MPa	$\sigma = 0.8$ MPa
2.75	1.10	0,4	41	28	15
2.75	2.75	1	137	159	95
2.75	5.00	1,82	266	462	309
3.00	1.20	0,4	44	31	17
3.00	3.00	1	139	171	104
3.00	5.00	1,67	244	423	283

Tableau DT12 : Effort horizontal résistant déterminé avec l'approche en flexion composée en fonction des dimensions du mur et de l'effort axial gravitaire (σ en MPa)

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 :

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

4.6. Principes de conception et dispositions parasismiques

4.6.1. Généralités et dispositions communes à toutes les configurations :

Les murs porteurs doivent résister aux charges verticales qui leur sont appliquées. Ils peuvent également participer à la résistance aux charges horizontales (vent, séisme) afin d'assurer la fonction contreventement. Les murs en principe CS2 sont liaisonnés en partie haute (en tête ou en couronnement) et liaisonnés au plancher ou à la charpente.

Chaque panneau CS2 de mur est lié aux panneaux adjacents par un chaînage en béton armé coulé sur chantier.

Mise en place de chaînages Horizontaux et verticaux

Dans le principe constructif CS2, des chaînages en béton armé sont à mettre en place pour assurer la stabilité sismique, les distributions de charges et la liaison sur chantier de panneaux adjacents par leurs bords verticaux ou horizontaux. En particulier, les chaînages verticaux vont réaliser par adhérence au béton de bois une étanchéité au feu aux liaisons et continuité du support mural à l'air et à l'eau. Chaque liaison verticale entre 2 panneaux adjacents doit accueillir un chaînage coulé sur chantier.

La mise en œuvre est similaire au DTU 20.1 P1&P3 en tenant compte de la spécificité du béton de bois TimberRoc.

Les chaînages horizontaux en béton armé, continus et fermés doivent être positionnés en ceinturage :

- au niveau du plancher bas du rez de chaussée ou du dallage (solidaire ou non des murs),
- à chaque étage, au niveau des planchers,
- en couronnement des murs libres en tête,
- avec une distance maximale entre deux chaînages horizontaux en couronnement périphérique dans le cas d'absence de planchers,
- aux murs de combles dont la hauteur est supérieure à 60 cm,

Largeurs d'appui des chaînages horizontaux :

- Pour des murs d'épaisseur inférieure à 30cm, la largeur d'appui du chaînage horizontal ne doit pas être inférieure aux 2/3 de l'épaisseur du mur porteur inférieur.
- Pour des murs d'épaisseur supérieure ou égale à 30cm, la largeur d'appui du chaînage horizontal ne doit pas être inférieure aux 3/5 de l'épaisseur du mur porteur inférieur.

Les chaînages verticaux ont pour objectif de :

- Ceinturer l'enveloppe des murs en liaison avec les chaînages horizontaux
- S'opposer au soulèvement des dalles de planchers dans les angles du bâtiment
- Transmettre les sollicitations sismiques aux fondations

Deux types de chaînages verticaux sont différenciés :

Chaînages verticaux principaux

Ce sont les chaînages de ceinturage pour la liaison avec les chaînages horizontaux qui sont impliqués dans la stabilité du bâtiment, notamment pour la reprise des efforts de contreventements. Ceux-ci sont disposés :

- aux bords libres de chaque élément de mur de la structure et à chaque angle rentrant ou sortant ;
- de part et d'autre des joints de dilatation,
- en partie courante du mur en fonction de la configuration , une distance minimum est requise ;
- à chaque intersection entre les murs de structure, lorsque les chaînages imposés par les règles ci-dessus sont distants de plus 1,5 m ;
- possiblement de chaque côté des ouvertures pratiquées dans les murs en fonction de la configuration et de la dimension de la surface de l'ouverture en m² ;

La section béton des chaînages verticaux principaux est de minimum 14*14cm.

Chaînages verticaux secondaires de liaison

Ce sont des chaînages qui n'ont pas particulièrement de rôle de stabilité vis-à-vis des efforts de contreventement et qui sont positionnés principalement sous les linteaux, de part et d'autre des ouvertures, selon les dispositions correspondantes à la configuration du projet : voir paragraphes 4.6.2, 4.6.3, 4.6.4.

Ceux-ci peuvent être disposés en partie courante des murs de rive ou de refend non contreventant ou encore si un chaînage principal est disposé à moins de 250 cm.

La section béton des chaînages verticaux secondaires est de minimum 12*12cm.

Voir : Figure A08 : Vue de principe en coupe d'un chaînage horizontal

Voir : Figure A09 : Vue de principe en coupe d'un chaînage vertical Principal

Voir : Figure A10 : Vue de principe des armatures de chaînages verticaux et horizontaux

Liaison entre les fondations et la structure

Les armatures métalliques des chaînages verticaux et des poteaux du rez-de-chaussée doivent être descendues jusqu'en face inférieure des fondations et ancrées totalement au-dessous de l'axe du chaînage horizontal le plus bas.

Rôle des murs de contreventement

Pour une construction de bâtiment en principe CS2, des murs pleins et chaînés doivent être mis en œuvre sur les 2 directions soient sur les façades extérieures, soient sur les refends en prenant garde à un comportement en déformation équilibré sous séisme.

Dans le cas des ouvertures décalées, seuls les murs chaînés et continus sur toute la hauteur de l'ouvrage contribuent efficacement au contreventement

Rôle du plancher - contreventement

Les planchers d'étage ou intermédiaires doivent constituer un diaphragme : c'est-à-dire une plaque considérée comme indéformable dans le plan, permettant de rigidifier la structure et de répartir les charges horizontales sur les panneaux de contreventement. Dans le cas courant de planchers à poutrelles ou dits de type nervurés béton, la fonction de diaphragme est assurée par la table de compression qui doit avoir une épaisseur minimum en fonction de la configuration du bâtiment (Eurocode 8).

Continuité des chaînages et enrobage des armatures

La continuité des armatures des chaînages horizontaux et verticaux doit être assurée, dans les 3 directions, à chaque niveau du bâtiment, des fondations vers le dernier niveau. La mise en œuvre est similaire à celle d'une maçonnerie chaînée relevant du DTU 20.1.

Il faut respecter une longueur d'ancrage et de recouvrement pour les armatures :

- En configurations A : Recouvrement d'au moins 50 fois le diamètre des aciers.
- En configuration B, C, D, E et F : Recouvrement d'au moins 60 fois le diamètre des aciers

Cas des chaînages verticaux

Il convient de vérifier, à chaque niveau, que les aciers en attente soient en place et dépassent suffisamment du niveau inférieur.

Un chaînage vertical doit être continu entre deux chaînages horizontaux y compris ceux des fondations. Les armatures de continuité seront façonnées en U ou en équerre. Le béton de remplissage des chaînages doit pouvoir être coulé sur toute la hauteur ou longueur des chaînages.

Voir : Figure A11 : Continuité des armatures de chaînages verticaux

Voir : Figure A12 : Continuité des armatures de chaînages verticaux en angle – vue perspective

Cas des chaînages horizontaux

Les chaînages horizontaux doivent être continus et fermes. Ils ne doivent pas être interrompus pour pratiquer des ouvertures par exemple.

Les chaînages horizontaux sont à lier aux chaînages verticaux disposés dans les murs porteurs.

Les armatures de continuité seront façonnées en U ou en équerre.

Voir : Figure A13 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U - angle

Voir : Figure A14 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U – Liaison refend

Voir : Figure A15 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U – Liaison refend / vue perspective

Voir : Figure A16 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres- angle

Voir : Figure A17 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres – Liaison refend

Voir : Figure A18 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres – Liaison refend / vue perspective

Les armatures des chaînages et des ouvrages associés en béton sont choisies parmi celles répondant aux prescriptions du NF DTU 20.1 P1.2.

Un enrobage minimal des armatures, par le béton de remplissage, de 10 mm doit être respecté (entre la paroi intérieure et l'armature la plus proche de celle-ci).

Dispositions pour les baies et ouvertures

Dimensions des trumeaux

La longueur de trumeaux porteurs pleins en béton de bois TimberRoc, accueillant un ou des chaînages verticaux, est de minimum 60cm.

La longueur de retours d'angles d'un bâtiment, accueillant un ou des chaînages verticaux, 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.

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.

Voir : Figure A19 : Longueur minimum de retour d'angle en panneau CS2

Encadrements de baies / Renforts d'ouverture

Les baies et plus généralement les ouvertures réalisées dans les panneaux CS2 doivent recevoir des chaînages de renfort en fonction de leurs dimensions et caractéristiques. Ces chaînages de renfort sont en béton armé de section minimum : **Profondeur 8cm et largeur 12cm**. Le choix des armatures métalliques des renforts dépend de la configuration du bâtiment et de la zone sismique.

Zones sismiques	Nombre d'armatures métalliques minimum	Diamètres des armatures (mm)	Section minimum (cm ²)	Type
1 et 2	2	8	1.01	HA Fe E 500
3	2	10	1.57	HA Fe E 500
4	2	12	2.26	HA Fe E 500

Tableau DT13 : armatures des renforts d'ouverture de baies

- Pour les ouvertures de largeurs inférieures à 60cm et de surface $S \leq 0,4\text{m}^2$, il n'est pas nécessaire de positionner des renforts – hormis un linteau si nécessaire.
- Pour les ouvertures de largeurs supérieures à 60cm, de hauteurs inférieures à 180cm et de surface $0,4\text{m}^2 \leq S < 1,5\text{m}^2$:
 - En configuration A : mise en place d'un chaînage de renfort horizontal sous l'appui de fenêtre et pas d'obligation de renforts verticaux.
 - En configurations B, C, D, E et F : mise en place à minima de chaînages de renfort horizontaux et verticaux d'ouverture.
- Pour les ouvertures de hauteurs supérieures à 180cm ou de largeurs supérieures à 220cm ou de surface $S \geq 1,5\text{m}^2$:
 - En configuration A – zone sismique 1 : mise en place à minima de chaînages de renfort horizontaux et verticaux d'ouverture.
 - En configuration A – zone sismique 2 : mise en place de chaînages verticaux secondaires de part et d'autre de l'ouverture et un chaînage de renfort horizontal sous l'appui pour les fenêtres.

- En configurations B, C, D, E et F, des chaînages verticaux principaux de part et d'autre de l'ouverture et un renfort horizontal sous l'appui pour les fenêtres.

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.

Linéaux

Les linéaux 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 linéaux 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.

Voir : Figure A20 : Principes linteau dans un panneau CS2

Appuis de baies

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

Dispositions pour les pignons, murs de combles et charpente

Chaînage rampant :

Pour les murs de pignons et les murs de combles, il est nécessaire de mettre en place un chaînage rampant périphérique (dit aussi chaînage de couronnement) en assurant une continuité avec les chaînages verticaux principaux, quand :

- La hauteur de ces murs dépasse 150 cm en situation ne relevant pas de l'Eurocode 8 (configurations A, B et C).
- La hauteur de ces murs dépasse 100 cm en situation relevant de l'Eurocode 8 (configurations D, E et F)

La hauteur minimale de ces chaînages est de 10cm. La réalisation de ces chaînages ne dispense pas de dispositifs de contreventement – en particulier en phase provisoire de chantier.

Voir : Figure A21 : Visuel principe chaînage rampant

Appuis pour charpente :

Dans les configurations de fixation de la charpente par des sabots métalliques, on veillera à ce que ceux-ci se prennent dans le chaînage. Lorsque les pannes de la charpente reposent sur le pignon, le chaînage incliné rampant ne doit pas être interrompu et doit ceinturer les pannes par-dessus.

Lorsque les fermes de la charpente s'appuient sur les murs extérieurs ou les murs de comble, une semelle de répartition des charges concentrées doit être prévue si les efforts de compression dépassent σ_{ELS} . Le chaînage horizontal ou de couronnement périphérique peut jouer ce rôle de semelle de répartition.

Voir : Figure A22 : Appui de pannes bois sur un panneau pignon

Voir : Figure A23 : Appui d'une ferme de charpente sur une semelle de répartition (chaînage)

Dispositions pour les acrotères en élévation de murs CS2

Les acrotères sont des ouvrages émergents constitués par des murets situés en bordure de toiture dans le prolongement des murs de façade.

On distingue les acrotères bas, dont la hauteur au-dessus de la protection de l'étanchéité ne dépasse pas 30cm et les acrotères hauts dont la hauteur au-dessus de la protection de l'étanchéité excède 30cm.

Les acrotères sont mis en œuvre sur des principe de toitures – terrasse, en général à faible pente et avec un revêtement d'étanchéité continu associé ou non à une isolation thermique et à une protection adaptée à sa destination. Il peut s'agir de toitures inaccessibles, toitures-terrasses techniques, de toitures - terrasse accessibles aux piétons ou de toitures végétalisées.

Acrotères bas

Ceux-ci peuvent être mis en œuvre selon plusieurs modes de réalisation en fonction de l'épaisseur des murs CS2 et du type de toiture - terrasse.

- Acrotères en béton coulés sur place

Les acrotères sont réalisés en œuvre sur chantier en béton armé selon le NF DTU 20.12. (7.2.4.1). Dans ce cas, le joint horizontal de liaison avec les panneaux en béton de bois du dernier niveau sera marqué (apparent). Ils sont réalisés soit en débord avec la façade soit en alignement. En cas de débord avec la façade, le profil de la goutte d'eau doit répondre aux descriptions du DTU 20.12. L'épaisseur de l'acrotère est de 10cm minimum et le ferrailage à prévoir est précisé dans le NF DTU 20.12.

Voir : Figure A24-A : Acrotère bas coulé en place

- Acrotères intégrés aux panneaux de façade CS2

Ces acrotères ne peuvent pas être utilisés pour l'accrochage d'échafaudages volants de type pinces d'acrotère au sens de la NF EN 1808. Ils sont limités aux terrasses inaccessibles.

Pour murs CS2 d'épaisseur minimum 30cm, les acrotères bas peuvent être intégrés en relevé sur les panneaux CS2 du dernier étage, uniquement si le plancher du dernier niveau comporte un chaînage périphérique en béton armé.

Dans ce cas l'épaisseur minimum de l'acrotère est de 12cm. La hauteur maximum du relevé d'acrotère aménagé dans un panneau CS2 doit être de **65 cm maximum** (y compris épaisseur dalle dernier niveau).

Dans une telle configuration, l'étanchéité de toiture doit remonter jusqu'à la tête d'acrotère, cette dernière accueillant une couvertine de protection fixée sur le béton de bois.

Voir : Figure A24-B : Acrotère bas intégré au panneau CS2

- Acrotères mixte béton de bois / béton

Pour les murs CS2 d'épaisseur minimum à 24cm, le relevé extérieur des acrotères peut être intégré aux panneaux CS2 du dernier étage et servir de rive de coffrage pour un acrotère en béton armé côté intérieur. La hauteur maximum du relevé d'acrotère aménagé dans un panneau CS2 de 24cm doit être de 55 cm maximum (non compris épaisseur dalle dernier niveau) et l'épaisseur minimum est de 8 cm.

Dans une telle configuration, l'étanchéité de toiture doit remonter jusqu'à la tête d'acrotère, cette dernière accueillant une couvertine de protection fixée sur le béton de bois.

Voir : Figure A24-C : Acrotère bas mixte

- **Acrotères rapportés**

Dans le cas de planchers béton ou avec une dalle de compression en béton, les acrotères bas peuvent être rapportés sur la toiture. Il s'agit alors d'éléments préfabriqués de panneaux d'épaisseur minimum 24cm avec des réservations verticales 12*12cm, disposés selon un espacement qui sera calculé en fonction des contraintes du projet (hauteur de l'acrotère, présence d'un garde-corps, zone de vent...). Ils sont posés au mortier sur le plancher de toiture en béton armé.

Les réservations accueillent des chaînages verticaux liés au chaînage horizontal du plancher de toiture. Dans une telle configuration, l'étanchéité de toiture doit remonter jusqu'à la tête d'acrotère, cette dernière accueillant une couverture de protection fixée sur le béton de bois.

Voir : Figure A24-D : Acrotère bas rapporté sur dalle toiture

Acrotères hauts :

Plusieurs modes de réalisation sont envisageables aussi :

- **Acrotères en béton coulés sur place**

Les acrotères sont réalisés en œuvre sur chantier en béton armé selon le NF DTU 20.12. (7.2.4.1). Dans ce cas, le joint horizontal de liaison avec les panneaux en béton de bois du dernier niveau sera marqué (apparent). En cas de débord avec la façade, le profil de la goutte d'eau doit répondre aux descriptions du DTU 20.12.

Les acrotères hauts en béton coulés en place sont composés :

- d'une partie basse continue dont le ferrailage est le même que celui des acrotères bas défini dans le NF DTU 20.12 en 7.2.4.1.1 ,
- d'une partie supérieure au-dessus du bandeau fractionnée, dont les joints verticaux intéressent toute l'épaisseur.

L'espacement des joints verticaux ne peut dépasser (par référence à la norme NF P 10-202 (Référence DTU 20.1)) :

- 8 m dans les régions sèches ou à forte opposition de température,
- 12 m dans les régions humides ou tempérées.

Les joints transversaux doivent être calfeutrés sur tout leur développement par un mastic élastomère 1^{ère} catégorie.

Voir : Figure A25-A : Acrotère haut coulé en place

- **Acrotères mixte béton de bois / béton**

Ces acrotères ne peuvent pas être utilisés pour l'accrochage d'échafaudages volants de type pinces d'acrotère au sens de la NF EN 1808. Ils sont limités aux terrasses inaccessibles.

Ces acrotères sont réalisés en partie basse en béton armé et pour la partie supérieure en panneaux rapportés de béton de bois pleins. Ils ne sont pas admis en situation d'exposition « d » définie dans la norme NF P 10-202 (Référence DTU 20.1). Les acrotères doivent être surmontés d'un couronnement. Ce couronnement doit être solidarisé de façon durable avec le dessus d'acrotère et doit empêcher le passage de l'eau dans l'acrotère.

Pour les murs CS2 d'épaisseur minimum 30cm, le relevé extérieur des acrotères peut être intégré aux panneaux CS2 du dernier étage et servir de rive de coffrage pour un acrotère en béton armé côté intérieur. La hauteur maximum du relevé d'acrotère aménagé dans un panneau CS2 de 30cm doit être de 85 cm maximum (non compris épaisseur dalle dernier niveau) et l'épaisseur minimum

est de 12 cm. Dans une telle configuration, l'étanchéité de toiture doit remonter jusque sur la tête d'acrotère, cette dernière accueillant une couverture de protection fixée sur le béton de bois. La justification de la stabilité de la partie supérieure de l'acrotère doit être effectuée par référence à la norme NF P10-202 (Référence DTU 20.1).

Voir : Figure A25-B : Acrotère haut mixte

- **Acrotères rapportés**

Dans le cas de planchers béton ou avec une dalle de compression en béton, les acrotères hauts peuvent être rapportés sur la toiture. Il s'agit alors d'éléments de panneaux d'épaisseur minimum 24cm avec des réservations verticale 15*15cm, disposés selon un espacement qui sera calculé en fonction des contraintes du projet (hauteur de l'acrotère, présence d'un garde-corps, zone de vent...). Ils sont posés au mortier sur le plancher de toiture en béton armé. Un joint de dilatation vertical doit être aménagé au minimum tous les 400cm, de largeur minimum 15mm avec application de mastic.

Les réservations accueillent des chaînages verticaux lié au chaînage horizontal du plancher de toiture.

Voir : Figure A25-C : Acrotère haut rapporté sur dalle toiture

La fixation des garde-corps permanents se fait sur la face intérieure des acrotères.

Dans le cas de la mise en place d'un garde-corps permanent, celui-ci doit être monté par des platines vissées sur la face intérieure de l'acrotère au plus près de l'étanchéité.

Voir : Figure A26 : Principe de pose garde-corps

Dispositions des chaînages – principes

Les visuels suivants précisent les principes généraux de disposition des chaînages sur des façades types. Les linteaux peuvent être disposés en retombée de chaînage ou en partie « imposte », au choix du concepteur et des contraintes du projet.

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



Figure A27

Notes :

- 1/ La distance maximum entre chaînages verticaux principaux est de 800 cm.
- 2/ En Zone de sismicité 1, les chaînages secondaires verticaux encadrant les ouvertures peuvent être remplacés par des chaînages de renfort d'ouvertures.

- Dispositions de principe des chaînages pour les configurations B et C, zones sismiques 3 et 4 – hors analyse de structure :

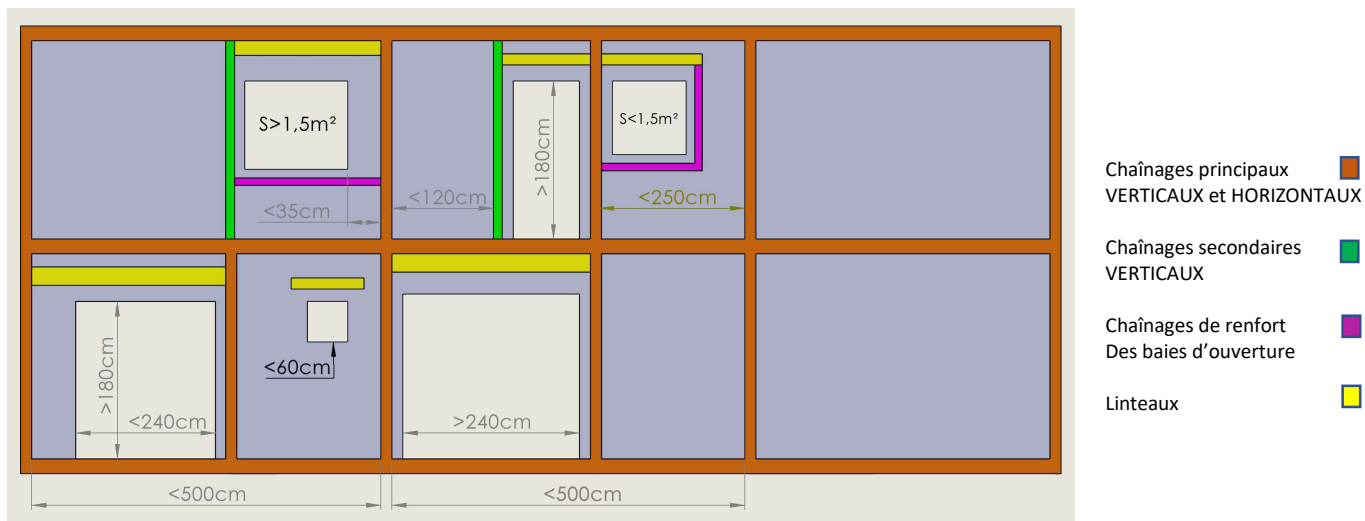


Figure A28

- Dispositions de principe des chaînages pour les configurations D, E et F – hors analyse de structure ou exigences particulières :

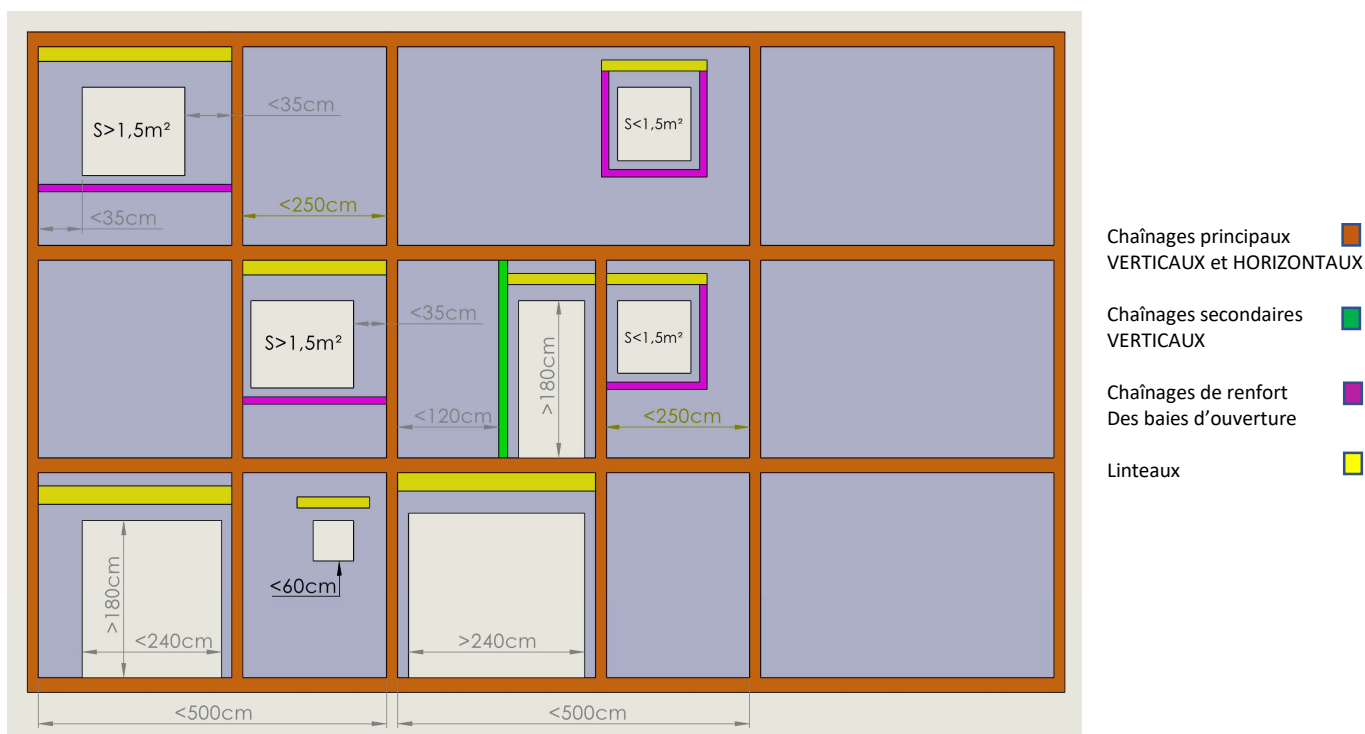


Figure A29

Rappel : il est recommandé d'avoir un « plombage » des ouvertures de chaque niveau.

Note :

En configurations B, C, D, E et F, la distance maximum entre chaînages verticaux est de 500cm.

Joint de dilatation et de fractionnement

Les joints de dilatation verticaux permettent d'absorber les variations dimensionnelles, d'origine thermique ou hygrothermique, des constructions pour prévenir notamment de l'apparition de fissuration dans les parois. Les distances maximales entre joints dépendent de l'implantation géographique de la construction. Les distances maximales entre les joints verticaux de fractionnement ou de dilatation sont définies en référence au DTU 20.1 P4 :

Région	Distance
Départements voisins de la Méditerranée (régions sèches à forte opposition de température)	20 m
Régions de l'Est, Alpes, Pyrénées, Massif central	25 m
Région parisienne	30 m
Régions de l'Ouest (régions humides et tempérées)	35 m

Tableau DT14 : Distance maximale entre les joints verticaux de fractionnement ou de dilatation

Lorsque les ouvrages surmontant le plancher en béton armé de la toiture ont une résistance thermique inférieure à celle figurant dans le NF DTU 20.12 ($1 \text{ m}^2\text{C/W}$), il est nécessaire d'intégrer des joints supplémentaires de fractionnement sur les murs du dernier étage. La distance entre joints de fractionnement successifs ne doit pas dépasser 20 m. Pour rappel, un acrotère en béton de bois plein de 24cm TimberRoc offre une résistance thermique de $1,5 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Saignées et réservations

Les saignées ne sont pas admises dans les éléments structurels tels que les linteaux, les chaînages et les renforts d'ouverture.

Lorsque les saignées et réservations verticales respectent les dispositions du tableau ci-dessous, la réduction de résistance qu'elles entraînent est admise sans calcul.

VERTICALES	Saignées et réservations constituées au cours de la préfabrication des panneaux		Saignées et réservations réalisées après pose sur chantier	
Epaisseur du mur	Profondeur maximum (cm)	Largeur max (cm)	Profondeur maximum (cm)	Largeur max (cm)
20 à 24cm	4,0	30,0	3,0	15,0
24 à 28cm	6,0	30,0	4,0	17,5
30 à 40cm	8,0	30,0	5,0	20,0

Tableau DT15 : Dimensions des saignées et réservations VERTICALES dans les panneaux CS2

La distance horizontale séparant une saignée verticale de profondeur supérieure à 3 cm d'une réservation, d'une ouverture ou d'une autre saignée verticale est au moins 22,5cm. Pour une saignée dont la profondeur est limitée à 3 cm et la largeur à 4 cm, cette distance peut-être de 8 cm minimum.

La distance horizontale séparant une saignée verticale d'une réservation, d'une ouverture ou d'une autre saignée verticale est au moins le double de la plus large des réservations. Les réservations sont considérées aussi bien sur la même face que sur la face opposée. Un panneau ne peut accueillir plus de 15% de sa largeur en saignées verticales.

Lorsque les saignées et réservations horizontales respectent les dispositions du tableau ci-dessous, la réduction de résistance qu'elles entraînent est admise sans calcul.

HORIZONTALES	Profondeur maximale (cm)	
	Longueur non limitée	Longueur ≤ 125 cm
Epaisseur du mur		
20 à 24cm	1,0	2,0
24 à 28cm	1,5	2,5
30 à 40cm	2,0	3,0

Tableau DT16 : Dimensions des saignées et réservations HORIZONTALES dans les panneaux CS2

Lorsque les saignées horizontales ou inclinées ne peuvent être évitées, elles sont à implanter en partie haute ou basse des murs, sur une hauteur ne dépassant pas $1/8$ de la hauteur libre du mur.

La distance horizontale entre la fin d'une saignée horizontale et une ouverture est d'au moins 50,0 cm.

La distance horizontale séparant deux saignées horizontales adjacentes de longueur limitée est au moins le double de la saignée la plus longue. Les saignées sont considérées aussi bien sur la même face que sur la face opposée.

La largeur d'une saignée n'excède pas la moitié de l'épaisseur résiduelle du mur.

Voir : Figure A30 : Exemples de saignées dans un panneau béton de bois TimberRoc

4.6.2. Dispositions de conception Configuration A :

- **Critères d'application**

La catégorie du bâtiment et la zone de sismicité n'engendrent aucune exigence sismique obligatoire à appliquer et aucune exigence d'analyse du comportement sismique du bâtiment. Les dispositions minimums et préconisées sont propres au procédé constructif CS2.

D'une façon générale, le procédé constructif CS2 pour ce type d'ouvrage est similaire à l'application du DTU 20.1 P1&P3 en tenant compte des spécificités du matériau béton de bois TimberRoc.

- **Vérifications à réaliser**

Concernant uniquement les murs en élévations selon principe constructif CS2, les vérifications suivantes sont à réaliser par le bureau d'études :

- Pour les maisons individuelles relevant des règles PS-MI
 - Répartition des ouvertures et des murs de contreventement.
- Pour l'ensemble des bâtiments hors maisons individuelles relevant des règles PS-MI
 - Répartition équilibrée des murs de contreventement
 - Descente de charges verticales maximum sur les murs en béton de bois – selon 4.4 « Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2 ».
 - Descente de charges verticales sur les éventuels poteaux en béton armé complémentaires.
 - Charges horizontales maximum sur les murs en béton de bois dues au vent – selon 4.4 « Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2 ».

- **Chaînages horizontaux**

La distance verticale maximum entre deux chaînages horizontaux est de 330 cm par défaut ou doit faire l'objet de justifications spécifiques et dans tous les cas ne sera être supérieure à 400cm.

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton S minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 1	Configuration A	H16*L8	1.5 cm ²	2HA 10	D5 esp15
ZONE 2		H16*L12 planchers courant	0,4% S Mini 2.00 cm ²	Mini 4HA 8	D5 esp15
ZONE 2		H16*L12 plancher terrasse	0,4% S Mini 3.14 cm ²	Mini 4HA 10	D5 esp15
ZONE 3 et 4			0,4% S Mini 3.14 cm ²	Mini 4HA 10	D5 esp15

Tableau DT17 : Dimensionnement des chaînages horizontaux en configuration A

- **Chaînages verticaux**

Chaînages verticaux principaux

Ceux-ci sont disposés :

- Avec une distance maximum entre deux chaînages verticaux dans le plan de : 800cm
- Selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 1	Configurations A	L14*P14	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 2		L14*P14	2.00 cm ²	4 HA 8 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 3		L14*P14	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 4		L14*P14	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15

Tableau DT18 : Dimensionnement des chaînages verticaux principaux en configuration A

Chaînages verticaux secondaires de liaison

Ceux-ci sont disposés :

- En partie courante des murs de façade ou de refend non contreventant ou en substitution d'un chaînage principal si un chaînage principal est disposé à moins de 120 cm ;
- Selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 1	Configurations A	L12*P12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 2		L12*P12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 3		L12*P12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 4		L12*P12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15

Tableau DT19 : Dimensionnement des chaînages verticaux secondaire en configuration A

NOTA : lorsque le positionnement entre un chaînage principal de ceinturage et un chaînage secondaire de liaison conduit à une distance entre axes inférieure à 80 cm en plan, il est possible de ne conserver qu'un seul de ces deux chaînages en priorisant les chaînages de ceinturages.

• Chaînages de couronnement

Ceux-ci sont disposés en tête des murs pignon ou des murs de comble.

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 1 et 2	Configurations A	L10*H12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 3 et 4	Configurations A	L10*H12	2.25 cm ²	2 HA 12	D5 esp15

Tableau DT20 : Dimensionnement des chaînages de couronnement en configuration A

• Caractéristiques du béton des chaînages :

Les caractéristiques minimales du béton de remplissage sont indiquées en partie 2.4

4.6.3. Dispositions de conception Configurations B et C :

• Critères d'application

Les critères de validité de l'application des configurations B et C correspondent aux exigences énoncées dans les règles PS-MI 92. Cela concerne ainsi uniquement les projets de maisons individuelles avec au plus 1 niveau RDC, 1 niveau d'étage et 1 niveau de combles. Un certain nombre de limitations sont à vérifier pour pouvoir appliquer les règles PS-MI, quelques sont résumées ci-dessous de façon non exhaustive :

- Si le terrain est en pente, le plancher bas du RDC doit être à moins de 50cm du niveau du terrain fini en aval.
- La hauteur de la maison individuelle doit respecter :
 - une hauteur maxi de 3,30 m pour une construction en RDC,
 - une hauteur maxi de 6,60 m pour une construction à étages
- une charge d'exploitation du plancher inférieure à 2,5kN/m²
- une contrainte de résistance du sol supérieure à 2,5 bars à l'ELU
- si la pente du terrain est supérieure à 10%, une étude particulière d'aménagement du sol et du soubassement est indispensable.

• Vérifications à réaliser

Concernant uniquement les murs en élévations selon le principe constructif CS2, pour des constructions relevant des règles PS-MI, les vérifications suivantes sont à réaliser par le bureau d'études :

- Répartition des ouvertures.
- Répartition équilibrée des murs de contreventement.
- Descente de charges verticales maximum sur les murs en béton de bois – selon 4.4 « Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2 ».
- Descente de charges verticales sur les éventuels poteaux en béton armé complémentaires.

• Chaînages horizontaux

La distance maximum entre deux chaînages horizontaux est de 330 cm.

Les chaînages horizontaux principaux doivent satisfaire les exigences suivantes :

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 3	Configurations B	H16*L12	3.14 cm ²	4HA 10	D5 esp15
ZONE 4	Configurations C	H16*L12	4.52 cm ²	4HA 12	D5 esp15

Tableau DT21 : Dimensionnement des chaînages horizontaux en configurations B et C

Hauteur minimum du chaînage en béton : 16 cm

Espacement des cadres des armatures $\leq \min \{ \text{hauteur béton du chaînage} ; 25 \text{ cm} \}$

• Chaînages verticaux

Chaînages verticaux principaux

Ceux-ci sont disposés :

- Avec une distance maximum entre deux chaînages principaux dans le plan : 500cm.
- Selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »

Les chaînages verticaux principaux doivent satisfaire les exigences suivantes :

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 3	Configurations B	L14*P14	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 4	Configurations C	L14*P14	4.52 cm ²	4HA 12 (8*8cm)	D5 esp15

Tableau DT22 : Dimensionnement des chaînages verticaux principaux en configurations B et C

Chaînages verticaux secondaires de liaison

Ceux-ci sont disposés :

- En partie courante des murs de façade ou de refend non contreventant ou en substitution d'un chaînage principal si un chaînage principal est disposé à moins de 120 cm ;
- Selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 3	Configurations B	L12*P12	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 4	Configurations C	L12*P12	4.52 cm ²	4HA 12 (8*8cm)	D5 esp15

Tableau DT23 : Dimensionnement des chaînages verticaux secondaires en configurations B et C

NOTA : lorsque le positionnement entre un chaînage principal de ceinturage et un chaînage secondaire de liaison conduit à une distance entre axes inférieure à 80 cm en plan, il est possible de ne conserver qu'un seul de ces deux chaînages en priorisant les chaînages principaux.

- Chaînages de couronnement

Ceux-ci sont disposés en tête des murs pignon ou des murs de comble.

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 1 et 2	Configurations A	L10*H12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 3 et 4	Configurations A	L10*H12	2.25 cm ²	2 HA 12	D5 esp15

Tableau DT24 : Dimensionnement des chaînages de couronnement en configurations B et C

- Caractéristiques du béton des chaînages :

Les caractéristiques minimales du béton de remplissage sont indiquées en partie 2.4

4.6.4. Dispositions de conception Configurations D, E et F:

- **Critères d'application**

L'application des dispositions des configurations D, E et F s'impose dans tous les cas où les critères des configurations A, B ou C ne sont pas réunis. La conception et la mise en œuvre du principe constructif CS2 doivent alors suivre les principes de l'Eurocode 8 et en particulier au paragraphe 9 de ce dernier.

- **Vérifications à réaliser – non-effondrement et contreventement**

Concernant uniquement les murs en élévations selon principe constructif CS2, les vérifications suivantes doivent être conduites :

- Dispositions pour les murs de contreventement

Les bâtiments doivent être constitués de planchers et de murs liaisonnés dans les deux directions horizontales orthogonales et dans la direction verticale. Les liaisons entre les planchers et les murs doivent comporter des chaînages périphériques adéquats en béton armé tels que précisés dans ce document. Tout type de plancher peut être utilisé, à condition que les exigences générales relatives à la continuité et à la fonction de diaphragme soient respectées.

Des murs de contreventement doivent être prévus dans au moins deux directions orthogonales.

Il convient que ces murs de contreventement respectent certaines exigences géométriques, à savoir :

- Elancement maxi $15 - L/h > 0,4$ avec h : hauteur libre des murs
 - Les vérifications à conduire pour les configurations D, E et F sont détaillées au paragraphe 4.5 du présent dossier technique, en synthèse il convient de :
 - Vérifier la répartition des descentes de charges verticales sur les murs en béton de bois et sur les éléments structuraux.
 - Procéder à une vérification par panneaux de contreventement en se basant au paragraphe 4.5 « Méthodologie de dimensionnement ».

Pour les bâtiments de catégorie III et IV, une vérification de la sécurité du bâtiment vis-à-vis de l'effondrement doit être faite et chaque élément de structure doit être évalué par le bureau d'études conformément à l'EN 1996-1-1 :2004. Cette vérification de sécurité n'est pas obligatoire pour les bâtiments de catégories d'importance I et II, si ceux respectent les vérifications énoncées ci-dessus.

Pour les vérifications à l'état ultime dans la situation sismique, il convient d'utiliser les coefficients listés en partie 4.4 du présent dossier technique.

- **Chaînages**

De façon similaire au NF EN 1998-1 (Eurocode 8), les chaînages horizontaux et verticaux doivent être liés entre eux et ancrés aux éléments du système structural principal. Le béton des chaînages doit être coulé après exécution de la pose des panneaux CS2.

Les chaînages principaux sont à dimensionnés par le Bureau d'Etudes Structure en fonction des efforts sur la structure sous séisme et vent. Les dimensions de la section transversale des chaînages horizontaux et verticaux ne doivent pas être inférieures à 14cm. Il convient que l'acier de béton armé appartienne aux classes B ou C conformément à l'EN 1992-1-1:2004, Tableau C.1.

- **Chaînages horizontaux**

La distance maximum entre deux chaînages horizontaux est de 330 cm par défaut ou doit faire l'objet de justifications spécifiques et dans tous les cas ne sera être supérieure à 400cm.

Ils doivent au minimum satisfaire les exigences suivantes :

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 2	Configuration D	H16*L12	Min 1% section Béton 3.14 cm ²	4HA 10	D5 esp15
ZONE 3	Configuration E	H16*L12	Min 1% section Béton 3.14 cm ²	4HA 10	D5 esp15
ZONE 4	Configuration F	H16*L12	Min 1% section Béton 4.52 cm ²	4HA 12	D5 esp15

Tableau DT26 : Dimensionnement minimal des chaînages horizontaux en configurations D, E et F

Hauteur minimum du chaînage en béton : 16 cm

Espacement des cadres des armatures $\leq \min \{ \text{hauteur béton du chaînage} ; 25 \text{ cm} \}$

• Chaînages verticaux

Chaînages verticaux principaux

Les chaînages verticaux doivent être positionnés :

- de chaque côté des ouvertures selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »
- pour que la distance maximum entre chaînages dans le plan soit de 500 cm maximum;

Les chaînages verticaux principaux sont à dimensionner en fonction des charges sous séisme. Ils doivent au minimum satisfaire les exigences suivantes :

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 2	Configuration D	L14*P14	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 3	Configuration E	L14*P14	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 4	Configuration F	L14*P14	4.52 cm ²	4HA 12 (8*8cm)	D5 esp15

Tableau DT27 : Dimensionnement minimal des chaînages verticaux principaux en configurations D, E et F

Chaînages verticaux secondaires de liaison

Ceux-ci sont disposés :

- En partie courante des murs de façade ou de refend non contreventant ou encore si un chaînage principal est disposé à moins de 120 cm ;
- Selon les dispositions précisées au paragraphe 4.6.1 « Encadrement de baies / renforts d'ouverture »

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 2	Configuration D	L14*P12	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 3	Configuration E	L14*P12	3.14 cm ²	4HA 10 (8*8cm)	D5 esp15
ZONE 4	Configuration F	L14*P12	4.52 cm ²	4HA 12 (8*8cm)	D5 esp15

Tableau DT28 : Dimensionnement minimal des chaînages verticaux secondaires en configurations D, E et F

NOTA : lorsque le positionnement entre un chaînage principal de ceinturage et un chaînage secondaire de liaison conduit à une distance entre axes inférieure à 80 cm en plan, il est possible de ne conserver qu'un seul de ces deux chaînages en priorisant les chaînages de ceinturages.

• Chaînages de couronnement

Ceux-ci sont disposés en tête des murs pignon ou des murs de comble.

ZONE SISMICITE	Dispositions	Section Béton minimum en cm	Section Armatures Fe E500	Armatures Longitudinales	Cadres
ZONE 2	Configuration D	L10*H12	1.50 cm ²	2 HA 10	D5 esp15
ZONE 3 et 4	Configurations E et F	L10*H12	2.25 cm ²	2 HA 12	D5 esp15

Tableau DT29 : Dimensionnement minimal des chaînages de couronnement - configurations D, E et F

- **Caractéristiques du béton des chaînages :**

Les caractéristiques minimales du béton de remplissage sont déterminées par une étude spécifique du bureau d'études de l'opération, en aucun cas la classe sera inférieure à C25/30.

4.7. Liaisons avec les murs de rives CS2

4.7.1. Liaisons en angles rentrants ou sortants

Voir Dossier des Annexes : Annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin ».

4.7.2. Liaisons avec murs de refend

Murs contribuant au contreventement du bâtiment :

Voir Dossier des Annexes : Annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin ».

Murs de cloisonnement (sans contreventement)

Voir Dossier des Annexes : Annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin ».

4.7.3. Appui des planchers

La largeur minimale d'appui des planchers L_p , sur les murs de rive porteurs CS2 est, sauf justifications, au moins égale – hors épaisseur des enduits :

- Au 2/3 de l'épaisseur de ces parois pour les parois d'épaisseur < 30 cm
Soit par exemple 16 cm d'appui pour un mur en 24 cm
- Au 3/5 de l'épaisseur de ces parois pour les parois d'épaisseur ≥ 30 cm
Soit par exemple 18 cm d'appui pour un mur de 30 cm

D'une façon générale, ces largeurs d'appui des planchers considèrent la zone périphérique des chaînages verticaux.

Voir : Figure A31 : Appui des planchers sur mur CS2 TimberRoc

4.7.4. Appui des planchers en éléments préfabriqués

Les murs de rive CS2 peuvent recevoir des planchers en éléments préfabriqués de type :

- Poutrelles – hourdis
- Prédalles
- Dalles alvéolées
- Planchers nervurés béton dont les planchers TimberRoc DS1
- Planchers à coffrage perdus de type Euromac ou équivalents

La largeur de l'appui des éléments préfabriqués est au minimum celle indiquée par les DTU ou les Avis techniques des procédés considérés s'il n'y a pas d'étalement à moins de 30cm du mur de rive en phase transitoire.

En disposant d'une file d'étalement à moins de 30 cm du mur de rive, l'appui des planchers en éléments préfabriqués doit être de minimum 2 cm. La file d'étalement ne peut être retirée que lorsque les chaînages horizontaux et dalles de compression sont réalisés et résistants.

Les planchers de type dalles alvéolées doivent absolument être étayés au niveau des murs de rive en phase transitoire et l'appui ne pourra être inférieur à 4 cm.

Voir : Figure A32 : Exemple d'appui de plancher préfabriqué

4.8. Intégration des ouvertures et baies

4.8.1. Positionnement des ouvertures

Les tableaux de baies sont réalisés directement dans les panneaux CS2 par coffrage lors de la fabrication. Les côtes finies doivent prendre en compte les dimensions des menuiseries, des tolérances de fabrication du panneau et des menuiseries, le jeu de montage et de la disposition des ragréages et joints à réaliser.

La position des ouvertures doit respecter les indications géométriques données dans l'annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin ».

4.8.2. Réalisation des linteaux

Les linteaux sont en béton armé coulés lors de la préfabrication en atelier ou coulés sur chantier ; ils peuvent être en retombée du chaînage horizontal. L'appui minimum des linteaux sur le panneau en béton de bois est de 22 cm.

4.8.3. Réalisation des appuis de baies

Les appuis sont réalisés sur le chantier en béton ou sont montés en éléments préfabriqués (béton, pierre, terre cuite ou métallique). L'ensemble de leurs caractéristiques et principes de mise en œuvre doivent respecter le NF DTU 20.1 P1-1 et plus spécifiquement la partie 5.10.

En particulier :

- Le débord du larmier par rapport au nu brut du mur non encore enduit, est supérieur ou égal à 3 cm, soit au total un débord supérieur à 6 cm entre le nez de l'appui et le nu fini du mur béton de bois de l'allège.
- Côté intérieur, la surface supérieure du rejingot de l'appui doit régner sur toute la largeur de la baie, y compris dans la feuillure s'il en existe une ou d'au moins 4 cm le tableau de part et d'autre de la baie.

Voir : Figure A33 : Appuis de baies en béton

4.8.4. Coffres et demi-coffres de volets roulants

Les panneaux en béton de bois CS2 peuvent accueillir des réservations de type coffres ou demi-coffre de volets roulants. Plusieurs possibilités sont envisageables :

- Bloc baie avec coffre caréné de volet roulant : pose en applique,
- Bloc baie avec coffre caréné de volet roulant : montage sur l'extérieur ou sur l'intérieur dans une réservation,
- Montage dans une réservation en tunnel avec mécanisme à encastrer.

L'épaisseur minimum de béton de bois sur une paroi intérieure ou extérieure du coffre de volet roulant est de 8 cm.

Voir : Figure A34 : Intégration des coffres et demi-coffres de volets roulants

4.9. Choix des complexes de murs / revêtements en fonction des expositions à la pluie et au vent

Les panneaux CS2 en béton de bois ne garantissent pas une étanchéité complète à la pluie battante – pour les usages courants il est nécessaire de prévoir un parement extérieur pour assurer une barrière à l'eau.

4.9.1. Niveau d'exposition à la pluie

Pour définir l'exposition des murs à la pluie et au vent, on se réfère au NF DTU 20.1-P3 qui précise que trois paramètres sont à considérer :

- **la situation de la construction**

Quatre situations sont distinguées :

- **A.** constructions situées à l'intérieur des grands centres urbains (villes où la moitié au moins des bâtiments ont plus de quatre niveaux) ;
- **B.** constructions situées dans les villes petites et moyennes ou à la périphérie des grands centres urbains ;
- **C.** constructions isolées en rase campagne ;
- **D.** constructions isolées sur le littoral ou situées dans les villes côtières
 - Uniquement au-delà d'une limite de 1000m du front de mer

- **la hauteur de la paroi au-dessus du sol**

Il est distingué de ce point de vue, les parois dont la partie supérieure, à une hauteur d'étage courant près, se situe :

- à moins de 6 m au-dessus du sol ;
- entre 6 m et 18 m ;
- entre 18 m et 28 m ;

- **la présence ou l'absence d'une protection contre le vent**

Les façades sont classées en trois catégories, les critères sont précisés dans le NF DTU 20.1-P3:

- les façades abritées ;
- les façades non abritées ;
- les façades en front de mer.

4.9.2. Types de murs en panneaux CS2

Les types de murs présentés dans les 2 tableaux suivants sont définis par analogie avec les types de mur définis pour la maçonnerie dans le NF DTU 20.1 P3. Pour plus de précisions, se référer au NF DTU 20.1 P3.

On distingue 4 types de murs selon l'efficacité du complexe ITI de mur :

Type de mur	Description	Configuration
Ia & Ib	Le mur de type I ne comporte aucun revêtement étanche sur son parement extérieur et aucune coupure de capillarité dans son épaisseur. Soit le mur béton de bois est apparent côté extérieur (ou avec un minéralisant hydrofuge) et avec un parement sur isolant hydrophile côté intérieur. Soit le mur présente un enduit côté extérieur et avec un parement hydrophile côté intérieur.	Légende 1 Isolant hydrophile 2 Plaque de parement 3 Plancher Ia Légende 1 Enduit 2 Parement intérieur hydrophile ou isolant hydrophile 3 Plancher Ib
IIa & IIb	Le mur de type II ne comporte aucun revêtement étanche sur son parement extérieur mais présente dans son épaisseur une coupure de capillarité continue. Pour le mur IIa, la coupure de capillarité est constituée par des panneaux isolants non hydrophiles en contact avec le mur en béton de bois. Pour le mur IIb, la coupure de capillarité est constituée d'une lame d'air continue entre le mur en béton de bois et la contre-cloison intérieure, la cloison intérieure comporte un panneau d'isolant non hydrophile, rigide ou semi-rigide.	Légende 1 Enduit ou revêtement 2 Plaque de parement 3 Isolant non hydrophile ou isolant hydrophile avec lame d'air 4 Plancher IIa Légende 1 Lame d'air 2 Plot imputrescible 3 Enduit 4 Panneau rigide d'iso. 5 Cloison de doublage 6 Plancher IIb
III	Le mur de type III ne comporte aucun revêtement étanche sur son parement extérieur mais présente une lame d'air continue entre le mur en béton de bois et la contre-cloison intérieure, la base de la lame d'air étant munie d'un dispositif d'évacuation de l'excédent d'eau vers l'extérieur.	Légende 1 Exutoire 2 Lame d'air 3 Relevé d'étanchéité 4 Cloison de doublage 5 Décrochement 6 Plancher
IV	Le mur de type IV comporte un revêtement étanche sur la paroi extérieure du mur en béton de bois. La solution classique est un bardage extérieur étanche à recouvrement.	Légende 1 Chevron 2 Bardage 3 Liteau

Tableau DT30 : Types de murs en ITI ou sans isolation

On distingue 4 types de murs selon l'efficacité du complexe ITE de mur :

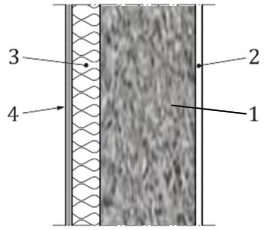
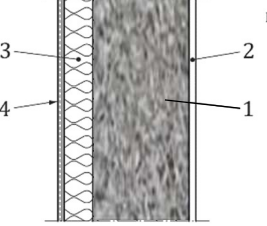
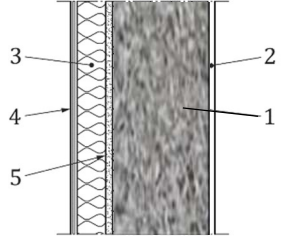
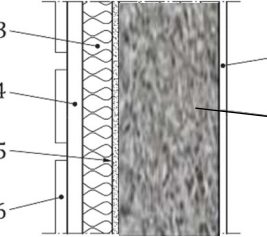
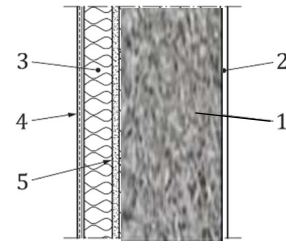
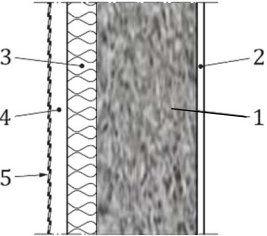
Type de mur	Description	Configuration
XI	Le mur de type XI ne comporte aucune disposition spécifique permettant de s'opposer au cheminement de l'eau de pluie jusqu'au parement intérieur. Le système d'isolation et la paroi support sont chacun considérés comme perméables à l'eau.	 Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre éventuel 3 Isolant ou mortier léger 4 Enduit hydraulique
XII	Le mur de type XII comporte : • Soit un système d'isolation capable de s'opposer au cheminement de l'eau de pluie vers l'intérieur • Soit l'épaisseur de la paroi en béton de bois et un enduit extérieur (équivalent type I) empêche l'eau de pénétrer vers l'intérieur pour des faibles quantités.	 Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre éventuel 3 Polystyrène expansé en plaque 4 Enduit à base de liant organique armé d'un treillis de verre  Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre 3 Polystyrène expansé en plaque 4 Enduit hydraulique 5 Enduit à base de liant hydraulique
XIII	Le mur de type XIII ne comporte : • Soit un système d'isolation par l'extérieur pas totalement étanche à l'eau mais derrière lequel est disposé une lame d'air continue. • Soit un système d'isolation par l'extérieur s'opposant au cheminement de l'eau par capillarité et gravité mis en œuvre sur un mur en béton de bois d'épaisseur suffisante pour s'opposer au cheminement de l'eau qui pourrait l'atteindre accidentellement.	 Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre éventuel 3 Isolant non hydrophile 4 Lame d'air 5 Enduit hydraulique 6 Peau extérieure à joints ouverts  Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre 3 Isolant 4 Système d'enduit 5 Enduit hydraulique
XIV	Le mur de type IV comporte un revêtement étanche sur la paroi extérieure du mur en béton de bois. La solution classique est un bardage extérieur étanche à recouvrement avec isolation incorporée.	 Légende 1 Paroi 2 Enduit plâtre éventuel 3 Isolant non hydrophile 4 Lame d'air 5 Peau extérieure étanche à l'eau

Tableau DT31 : Types de murs en ITE

4.9.3. Choix des configurations minimums en panneaux CS2

Voir les cas des situations A, B, C et D dans le paragraphe 4.9.1

Parois en panneaux CS2 destinées à rester apparentes – lasure de type minéralisant hydrofuge de surface :

Uniquement après analyse pour des bâtiments à usage industriel, garage ou agricole.

Hauteur du mur au-dessus du sol (en m)	Situations A, B ou C	
	Façade abritée	Façade non abritée
< 12 m	la si ép ≥ 30 cm lb	la si ép ≥ 30 cm lb

Tableau DT32

Parois en panneaux CS2 destinées à être enduites et recevoir une isolation par intérieur :

Hauteur du mur au-dessus du sol (en m)	Situations A, B ou C		Situation D Zone littorale située à plus de 1000 m du front de mer	
	Façade abritée	Façade non abritée	Façade abritée	Façade non abritée
< 6 m	lb (ép ≥ 24 cm)	lb (ép ≥ 24 cm)	lb (ép ≥ 24 cm)	Ila
6 à 18 m	lb (ép ≥ 24 cm)	Ila	lb (ép ≥ 24 cm)	Ila
18 à 28 m	lb (ép ≥ 24 cm)	Ila	Ila	Ilb

Tableau DT33

Parois en panneaux CS2 destinées à être isolées par l'extérieur :

Hauteur du mur au-dessus du sol (en m)	Situations A, B ou C		Situation D Zone littorale située à plus de 1000 m du front de mer	
	Façade abritée	Façade non abritée	Façade abritée	Façade non abritée
< 6 m	XI	XI	XI	XII
6 à 18 m	XI	XII	XI	XII
18 à 28 m	XI	XII	XI	XII

Tableau DT34

4.10. Cas particuliers

4.10.1. Bâtiments de grande hauteur et portes sectionnelles

Pour des projets de bâtiments, nécessitant une grande hauteur sous plafond (sans plancher intermédiaire), les panneaux CS2 peuvent être superposés sur deux niveaux maximums dans une limite de hauteur de :

- 600 cm en panneaux de 24 cm à 28 cm,
- 640 cm en panneaux d'épaisseur supérieure ou égale à 30 cm.

Un chaînage horizontal doit être disposé au maximum tous les 330 cm.

Dans le cas de 2 murs – panneaux superposés et qu'il n'y a, au droit des chaînages horizontaux entre ces éléments, pas d'éléments raides de type plancher permettant la reprise des efforts horizontaux, il est nécessaire de réaliser une étude particulière du complexe voile en panneaux CS2 TimberRoc, chaînages verticaux et horizontaux en béton armé. Cette étude sera réalisée par un Bureau d'Etudes avec un modèle aux éléments finis.

Le complexe doit être justifié :

- En flexion entre éléments de contreventement horizontaux (plancher, poutres au vent ...) et/ou verticaux (voiles de refends ...). Dans l'optique de limiter la contrainte de traction par flexion dans le matériau TimberRoc en dessous de la valeur maximale admissible, il est loisible d'augmenter le nombre de chaînages, verticaux et/ou horizontaux, et de réduire leurs espacements.
- En reprise de charge verticale, en se basant sur la méthode présentée au paragraphe 4.5.2 pour les murs superposés avec élancement > 15.

Pour des bâtiments de type entrepôts, les portes sectionnelles de grandes dimensions peuvent être réalisées par un principe d'assemblage de panneaux trumeaux et d'un panneau poutre. L'ouverture doit avoir une hauteur maximum de 500 cm et une largeur maximum de 450 cm.

Voir : Figure A35 : Exemple de réalisation d'une porte sectionnelle de grandes dimensions

4.10.2. Mix avec éléments porteurs en béton armé de types poteaux et poutres

Pour certains ouvrages, des zones de fortes sollicitations mécaniques, statiques ou dynamiques, nécessitent l'utilisation d'éléments structuraux en béton armé. Ceux-ci doivent être réalisés selon l'EN 1992 (Eurocode 2) et doivent se reprendre sur les chaînages des panneaux CS2 adjacents par continuité des armatures métalliques.

Lorsque le dimensionnement de ces éléments structuraux entraîne une épaisseur supérieure au 2/3 de l'épaisseur des panneaux CS2, on veille à les intégrer en saillie sur le côté intérieur des panneaux CS2, afin de ne pas créer de zones de désordre sur l'extérieur des voiles.

Voir : Figures A36-A : Réalisation d'un poteau porteur en saillie sur 2 niveaux de panneaux CS2

Voir : Figures A36-B : Ouverture avec poteaux porteurs de part et d'autre

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.

4.10.3. Planchers en balcon

Les constructions en panneaux CS2 peuvent accueillir des planchers en balcon si leur mise en œuvre est conforme au NF DTU 20.1 ou à l'EN 1996 (Eurocode 6).

Lors de la réalisation des balcons (préfabriqués ou coulés en place), une continuité mécanique doit obligatoirement être assurée entre le balcon et le plancher. Les murs de façade CS2 en béton de bois peuvent reprendre les efforts verticaux si ceux-ci sont inférieurs aux limites définies dans le paragraphe 4.5 « Méthodologie de dimensionnement du principe constructif CS2 » mais ne les reprennent pas de moments de flexion.

4.10.4. Bâtiments en extension

Pour les extensions, un joint parasismique permet de séparer la partie existante de la partie à réaliser, l'extension est considérée comme une construction neuve.

4.10.5. Bâtiments en surélévation

Le principe constructif CS2 peut être utilisé pour réaliser des surélévations :

- Dans la limite de 3 niveaux maximum pour la surélévation, dans une construction neuve dont les premiers niveaux sont en béton armé relevant de l'Eurocode 2. L'ensemble des niveaux ne devra pas dépasser une hauteur de 28 m, mesurée au niveau du plancher bas du dernier étage.
- Dans la limite de 2 niveaux maximum pour la surélévation, pour une implantation sur une construction existante. L'ensemble des niveaux ne devra pas dépasser une hauteur de 28 m, mesurée au niveau du plancher du dernier étage.

Pour les surélévations en principe constructif CS2, il est indispensable de faire appel à un bureau d'études structure afin de vérifier en particulier :

- la capacité du bâtiment principal à reprendre les charges de la surélévation
- la stabilité au vent, aux séismes et aux incendies de la surélévation en panneaux CS2.

Pour une surélévation, les règles de reprise des chaînages et les exigences réglementaires à prendre en compte en fonction de la hauteur finale du bâtiment sont à appliquer.

5. Règles de conception des panneaux CS2

L'ensemble des règles techniques de conception et de dessin des panneaux CS2 pour réaliser une construction relevant du présent dossier est énoncé dans l'**Annexe n°1 « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin »**.

6. Sécurité incendie

6.1. Durées de résistance au feu

La tenue au feu des murs composés de panneaux **CS2** est justifiée par les propriétés intrinsèques au feu des panneaux TimberRoc. Les durées de résistance au feu (Résistance – Etanchéité et Isolation) des panneaux **CS2** sont données dans l'annexe n°5 « Sécurité incendie » : elles sont fonction de la contrainte de compression verticale et de l'épaisseur des panneaux.

Pour les bâtiments dont les façades doivent respecter l'article AM8 (cas des établissements recevant du public) il est obligatoire que doublage intérieur réponde à l'exigence d'écran thermique, tel que mentionné à l'article AM8.

6.2. Réaction au feu

Les panneaux CS2 en TimberRoc ont un classement de réaction au feu A2, s1, d0.

6.3. Dispositions de mise en œuvre dans le cas de l'Instruction technique IT249

Pour les bâtiments soumis à l'IT 249, des dispositions spécifiques s'appliquent : la nature et la mise en œuvre des matériaux constituant le revêtement extérieur (ventilé ou non) et le traitement des tableaux de menuiserie sont décrites aux paragraphes 8.9.4 ou dans l'appréciation de laboratoire d'EFFECTIS EFR 22-001940.

Mise en œuvre

La mise en œuvre des panneaux CS2 TimberRoc doit se faire à l'avancement sur chantier avec :

- En vertical : un chaînage vertical ou un poteau béton armé coulé en frais sur chaque liaison verticale entre deux panneaux adjacents.
- En horizontal : une pose sur mortier régulièrement répartie sous la base du panneau.

Cette mise en œuvre assure une étanchéité au feu sur l'enveloppe du bâtiment en CS2.

Revêtements extérieurs

Selon, le type de revêtement extérieur rapporté, il conviendra de respecter :

- bardages ventilés : mise en œuvre d'un déflecteur de flamme à chaque niveau (épaisseur acier 15/10ème) et présence (ou non) de dispositif d'obturation de lame d'air,
- ETICS : il convient de remplacer ponctuellement l'isolant support d'enduit par une bande de laine de roche, de masse volumique de 70 kg/m³, au droit de la jonction panneaux TimberRoc / plancher. Cette bande de coupure est disposée sur une hauteur de 30 cm à tous les niveaux.

Pour les dispositions spécifiques dans le cadre de l'intégration de menuiseries, voir le paragraphe 8.9.

Masse combustible mobilisable

Pour les bâtiments dont la règle du "C+D" est exigée, la masse combustible mobilisable de la façade sera déterminée selon la méthode de calcul définie au §4.1 de l'Instruction Technique n°249 version 2010.

La masse combustible mobilisable à considérer dans le calcul du C+D correspondra exclusivement aux parties d'ouvrages disposées à l'extérieur du panneau et incluant ce dernier. Les couches combustibles situées derrière le panneau et donc protégées du feu extérieur ne sont pas comptées dans le calcul de la masse combustible mobilisable.

La masse combustible mobilisable à prendre en compte pour les panneaux CS2 d'épaisseur 24cm est de **0,108 MJ/kg**. Pour les panneaux d'épaisseurs supérieures à 24cm cette valeur de 0,108MJ/kg sera utilisée en l'absence de résultat d'essai spécifique.

7. Fabrication et contrôles

La mise en œuvre industrielle se décline sur deux axes :

- La fabrication du granulats additivés
- La préfabrication des panneaux TimberRoc.

7.1. Fabrication du granulats de bois additivés

La fabrication du granulats de bois additivés est réalisée uniquement au sein de l'usine de CCB Greentech à Beaurepaire (38). Le granulats additivés est livré en vrac en remorques aux sites de production des panneaux. La fabrication du granulats additivés par CCB Greentech fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité, formalisé dans le document « LTO-PAQ PRODUCTION GRANULATS ADDITIVES » et d'un contrôle régulier par un organisme indépendant mandaté par CCB Greentech.

Préparation du granulats bois additivés

Le "granulats bois additivés", entrant dans la composition du béton de bois TimberRoc, est exclusivement réalisée par l'usine de production de la société CCB Greentech située à Beaurepaire (38).

Le granulats est obtenu à partir de billons de bois écorcés ou de chutes de scieries, d'essences de bois résineux provenant de forêts françaises gérées durablement. Des opérations spécifiques sont réalisées pour obtenir un granulats de bois d'une granulométrie définie ; lequel reçoit ensuite un traitement de minéralisation avec une alimentation régulée.

Cette fabrication fait l'objet d'un CPU avec des contrôles spécifiques tels que mentionné dans le document « LTO-PAQ PRODUCTION GRANULATS ADDITIVES ».

Une attention particulière est portée sur les points suivants :

- Caractéristiques du bois
- Densité apparente
- Granulométrie

Le granulats bois additivés est ensuite distribué en vrac, protégé des intempéries, aux sociétés de préfabrication licenciées, productrices des panneaux en béton de bois TimberRoc :

- usine de production CCB Greentech située à Beaurepaire (Isère 38),
- sites de production des industriels fabricants licenciés.

7.2. Fabrication du béton de bois et des panneaux

La fabrication des produits est réalisée au sein de l'usine de CCB Greentech ou des sites industriels licenciés. La préfabrication de panneaux en béton de bois par CCB Greentech ou les sites industriels licenciés fait l'objet d'un Plan d'Assurance Qualité, formalisé dans le document « LT1-PAQ PRODUCTION PREFABRICATION ».

Les sites de production sont équipés d'une zone de stockage des granulats, d'un malaxeur à béton, d'un distributeur mobile à béton, de tables de coffrages métalliques, d'une machine spécifique de nivelage/compactage et de moyens levage et de manutention. La préfabrication comporte plusieurs phases, à savoir :

Stockage du granulats bois

Les granulats de bois additivés sont stockés sur une zone dédiée, confinée et abritée de la pluie, du ruissellement de l'eau de pluie et du vent. Un contrôle des qualités du granulats de bois additivés stockés est

réalisé selon les préconisations du document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc » en veillant aux délais de vérification.

Préparation des coffrages

Mise en place des joues de coffrages et des coffrages de réservations intérieures sur les tables de coffrages métalliques rigides, grâce à des systèmes à aimantation, selon les plans de production transmis par le bureau d'étude de l'opération. On projette une huile de démoulage par pulvérisation sur le fond de coffrage, sur les réservations complémentaires disposées dans le moule et sur les joues de coffrage.

Une table de coffrage peut accueillir plusieurs coffrages de panneaux en fonction de leurs dimensions.

Préparation du mortier béton de bois

Le granulat additivé est contrôlé à réception par rapport exigences définies dans le document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc ».

Le granulat de bois additivé est introduit dans une centrale à béton de bois automatisée et paramétrée avec les composants supplémentaires.

Le document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc » précise :

- Les quantités des composants supplémentaires à doser selon l'abaque fournie aux sites de préfabrication licenciés : poids pour le granulat additivé, volume pour l'eau, poids pour le ciment, volume pour l'additif.
- Les temps de malaxage.

Coulage des panneaux

Après malaxage, le mortier béton de bois est coulé en 3 étapes successives et enchainées en utilisant un distributeur mobile, automatique ou manuel, dans les moules de coffrage :

- 1^{ère} étape : coulage d'une première couche à mi-épaisseur,
- 2^{ème} étape : intégration des ancrages de levages et appareillages techniques si besoin (boîtes électriques, gaines électriques ou fixations) et compactage intermédiaire,
- 3^{ème} étape : coulage d'une seconde couche en débord du haut du coffrage. Cette surépaisseur est définie dans le document « LT1-PAQ PROCESS PRODUCTION PREFABRICATION - TimberRoc ».

Nivelage et compactage

On procède ensuite au nivelage et compactage du béton de bois par une machine dédiée et spécifique, permettant de réaliser la surface supérieure du panneau en maîtrisant le taux de compression du produit et ses propriétés. On peut procéder au retrait des joues de coffrages après un temps minimum de 15 min après le compactage pour des panneaux de 24 cm d'épaisseur.

Séchage ou étuvage

- Séchage naturel du panneau à l'air libre de l'atelier,
- Passage du panneau en étuve pour accélérer le processus de prise du ciment : 10h minimum entre 30 et 45°C,

Le temps de séchage est défini en fonction des conditions de séchage pour obtenir les caractéristiques minimums de résistance du béton de bois pour le levage : voir **Annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – CMU »**.

Relevage des panneaux

Le relevage des panneaux en béton de bois se fait par le biais d'une table de relevage afin de réduire les efforts au sein du panneau, après un séchage permettant d'atteindre les propriétés mécaniques minimums nécessaires : voir Annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – CMU ».

Avant relevage, on procède au calage des panneaux sur le bas de la table de relevage. On transfère les panneaux sur les ETS (Equipement de Transport et de Stockage) qui serviront au stockage et à la livraison sur le chantier.

Certains panneaux devant accueillir des renforts ou chaînages en béton armé sont redirigés vers la chaîne de fabrication pour recevoir ces éléments ; ils seront à nouveau séchés avant relevage.

S'il n'est pas fait usage d'une table de relevage, des dispositions particulières doivent être prises pour vérifier la méthode de levage à jeune âge et la capacité des ancrages en fonction des murs à relever.

Manutention et stockage en usine

Pour le levage, un palonnier déplacé par un pont roulant adapté, doit être utilisé en veillant à un bon équilibrage des efforts sur chaque crochet du panneau.

Les panneaux doivent être déplacés uniquement par un levage complet vertical et sans à-coups ou chocs qui pourraient mettre en défaut la résistance du panneau. Les panneaux doivent être posés de façon verticale sur une surface plane ou sur des calages réguliers. Il faut veiller à laisser un espace entre les panneaux entreposés verticalement pour permettre la circulation de l'air comme signifié dans le plan d'assurance qualité.

7.3. Tolérances de fabrication des panneaux CS2

Pour les tolérances géométriques relatives aux longueurs, hauteurs, épaisseurs et diagonales, les valeurs cibles sont celles définies dans la classe B au sens de la norme NF EN 14992 « Produits préfabriqués en béton – Eléments de mur ». Ces tolérances sont mentionnées dans les tableaux suivants pour information :

Dimensions de base	0 à 0,5m	0,5 à 3,0m	3,0 à 6,0m	6,0 à 10,0m
Ecart admis	+/-8mm	+/-14mm	+/-16mm	+/-18mm

Tableau DT36 : Tolérances de fabrication des dimensions de base

Pour les tolérances relatives à l'orthogonalité, la rectitude des arêtes, les valeurs cibles sont définies dans le tableau suivant :

Orthogonalité - limite de la différence entre diagonales <6m	3mm/m
Orthogonalité - limite de la différence entre diagonales >6m	1,5mm/m
Orthogonalité - tolérance maxi	24mm
Rectitude des arêtes des éléments et des ouvertures	≤4mm
Position des baies d'ouverture	+/-5mm
Défaut d'aplomb des baies d'ouverture	≤2mm/m

Tableau DT37 : Tolérances d'orthogonalité et de rectitude

7.4. Procédures de contrôle

Marquage du produit

Un marquage de chaque panneau est réalisé avec les informations de suivi figurant dans un dossier de conception – production par étude (affaire) selon le paragraphe 1.3.

Procédures de contrôle internes de fabrication

La fabrication des panneaux CS2 est soumise à une procédure de contrôles internes, sur les bases et modalités du document « Plan Assurance Qualité : Production des panneaux TimberRoc » dans lequel est indiqué un Contrôle Production Usine (CPU) défini, allant de l'approvisionnement des matières premières jusqu'à la fin du process de fabrication des panneaux.

Une attention particulière est portée sur les points suivants :

- Suivi qualité du granulat de bois additivé
- Dosage du béton de bois
- Coulage du béton de bois
- Nivelage et compactage
- Panneaux CS2 finis

Pour suivre la qualité du béton de bois, des tests sont conduits sur des jeux d'éprouvettes cubiques.

Ces essais ont lieu au minimum :

- à chaque production journalière,
- à chaque changement journalier de formulation de béton,
- tous les 500m² de panneaux produits.

Les mesures suivantes doivent être effectuées :

- densité
- résistance en compression

Ces mesures sont réalisées sur au minimum 3 éprouvettes à deux périodes :

- Période de levage (jeune âge) : 5 jours si séchage naturel ou après temps d'étuvage
- Maturité du béton de bois de 28 jours +/- 2 jours.

En fin de chaîne de production, un contrôleur vérifie les dimensions, la rectitude des parois, la localisation et le dimensionnement des réservations sur la base des plans établis par le bureau d'études et dans la limite des tolérances de fabrication définies ci-dessus.

7.5. Contrôles qualité externe

Les résultats des contrôles internes relatifs à la densité et à la tenue en compression sont tenus à disposition du CSTB pour suivi.

Un contrôle portant sur le système de Contrôles de Production en Usine (CPU) est réalisé 1 fois par an, par un organisme de contrôle extérieur. Les contrôles et audits portent sur :

- l'examen des procédures de contrôles décrites dans le CPU,
- l'audit de l'usine pour vérification de la bonne application des procédures de contrôles.

8. Mise en œuvre du système constructif CS2 sur chantier

La mise en œuvre des panneaux TimberRoc sur chantier est encadrée par le document « LT2-PAQ MISE EN OEUVRE – CHANTIER ».

8.1. Consignes générales

Lors du transport, du levage et de la pose des panneaux, il est important de respecter les recommandations ci-après, afin de garantir la sécurité du chantier :

- majorer le poids propres des panneaux CS2 de 20%
- vérifier les points d'élingage, la longueur d'élingage et la capacité de la grue en fonction du poids total des panneaux à lever,
- prévoir l'étalement provisoire des panneaux CS2 en attendant leur fixation définitive, par l'intermédiaire d'étais "tirant-poussant".

Les conditions climatiques (fortes températures, températures faibles et gel, fortes pluies et vents battants, voire neige...) doivent être prises en compte lors de la construction d'un ouvrage – pour plus de précisions se référer au NF DTU 20.1

8.2. Manutention et transport

Les panneaux TimberRoc sont manutentionnés par des grues à tour ou automotrices. Les caractéristiques de ces engins et éléments de manutention devront être compatibles avec le poids des panneaux à manutentionner. La manutention des panneaux TimberRoc s'effectue uniquement par les ancrages de levage, incorporés dans le haut du panneau, prévus à cet effet. En aucun cas la manutention ne peut s'effectuer par d'autres armatures sans consultation préalable du fabricant.

A titre indicatif, le panneau le plus lourd peut avoir une masse de :

- 6.6 Tonnes pour un panneaux de dimensions maximum en 24cm d'épaisseur (avec majoration – voir paragraphe 3.2)
- 8,3 Tonnes pour un panneaux de dimensions maximum en 30cm d'épaisseur (avec majoration – voir paragraphe 3.2)

Moyens de levage

Chaque panneau intègre ses propres ancrages de levage qui sont incorporés en dessous du niveau de l'arase du panneau. Après assemblage des panneaux sur chantier ces dispositifs sont masqués et ne sont plus accessibles.

Les ancrages de levage sont disposés à mi-épaisseur du panneau lors de la phase de coulage du béton de bois TimberRoc. Ces inserts sont fabriqués en sous-traitance selon un cahier des charges.

Le nombre d'ancrages de levage est déterminé par la dimension, le poids des panneaux et la résistance du béton de bois à la sortie de l'étuve – voir pour plus de précisions l'Annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – CMU ».

Dispositifs de levage

La manutention en usine ou sur chantier se fait :

- Soit à l'aide de sangles insérées dans la boucle de ces inserts et doublées - ces sangles sont des boucles en Polyester multifilaments haute ténacité.
2 types de sangles sont utilisables :

- élingue en sangle à tête en 2 boucles : la sangle est passée dans la boucle de l'ancrage et les 2 extrémités en boucles sont prises par le un crochet verrouillable raccordé au palonnier.
- sangle tubulaire en boucle : Ces boucles de sangles sont rattachées à la boucle de l'ancrage de levage par un nœud en tête d'alouette. L'extrémité de la boucle de sangle est prise par un crochet verrouillable raccordé au palonnier.

La boucle de levage doit être conforme à la norme EN 1492-1 :2009 et avoir une capacité CMU de 20 kN minimum, fixée en fonction du poids du panneau à manutentionner.

- Soit avec des élingues recevant des crochets ou manilles se prenant dans la boucle des inserts.

Manutention

Le système de levage doit être utilisé en veillant à un bon équilibrage des efforts sur chaque ancrage du panneau, avec en particulier un angle des élingues minimum.

Figure A37 : Equilibrage du système de levage

La manutention devra se faire dans le respect des règles de sécurité et une vigilance accrue des opérateurs vis-à-vis d'une casse impromptue du panneau ou d'un dispositif de levage dysfonctionnant.

Les panneaux doivent être déplacés uniquement par un levage complet vertical et sans à-coups ou chocs qui pourraient mettre en défaut la résistance du panneau. Les panneaux doivent posés de façon verticale sur une surface plane ou sur des calages réguliers.

Les panneaux offrent des surfaces de prise au vent importantes lors de leur manutention, il est impératif d'une part de recourir aux précautions habituelles relatives à la manutention des éléments de grande dimension, d'autre part de cesser la mise en œuvre lorsque la vitesse du vent empêche la manutention aisée par deux personnes.

Transport et stockage

L'annexe n°9 « Transport et stockage des panneaux TimberRoc » détaille les ETS utilisables et dimensions.

Le gabarit routier standard est de 2,50m x 4,40m (largeur x hauteur). L'entreprise cliente doit s'assurer de la bonne desserte du chantier ou en informer l'entreprise de préfabrication.

D'une façon générale, le stockage sur chantier des éléments doit être effectué sur une aire régulièrement plane et stable à la charge de l'entreprise de construction ; l'aire de livraison doit être facile d'accès pour les camions. Un stockage tampon peut éventuellement être utilisé avec une box par exemple.

Le stockage éventuel sur chantier à la verticale, hors des ETS (Equipements de Transport et de Stockage) peut se faire par l'entreprise de construction, sous sa responsabilité en veillant à :

- assurer la sécurité des personnes,
- éviter tout effort imprévu,
- éviter toute déformation,
- supprimer tout risque de détérioration susceptible de nuire à la qualité d'aspect des parements ou à la durabilité du béton du bois.

Le stockage à plat est proscrit.

8.3. Chronologie des principales étapes de mise en œuvre

A noter, que la définition de l'adaptation du mode de fondation au sol en place ne dépend pas du principe constructif TimberRoc et devra donc faire l'objet d'une étude de sols spécifique aux projets suivant la norme NFP 94-500.

Les principales étapes de mise en œuvre sont détaillées dans l'**annexe n°6 : « Notice de montage des panneaux CS2 de hauteur $\leq 3,3\text{m}$ »**.

8.3.1. Réception du support dalle – pleine béton

Les tolérances d'exécution sont définies par les normes NF DTU 20.1 et 23.1. En outre, la structure doit respecter les tolérances ci-après, conformément à la norme NF DTU 31.4 pour les surfaces horizontales (de type dalle) :

- planéité horizontale au droit de la future façade : 5 mm rapportée à la règle de 2 m et 2 mm rapportée à un réglet de 200 mm,
- horizontalité générale au droit du support de la façade de $\pm 1 \%$ avec pour maximum 10 mm sur une distance de 10m,
- dimension de la dalle (longueur, largeur) comprise entre ± 10 mm,
- équerrage en plan compris entre ± 10 mm sur une distance de 10 m,
- écart de l'alignement des nez de dalle inférieur ou égal au maximum de 7 mm ou $h/400$ (avec h : hauteur entre deux étages successifs).

Dans le cas d'une dalle support de type autre que dalle pleine béton, une étude de faisabilité est à conduire par le bureau d'étude de l'opération afin de vérifier en particulier la possibilité de disposer les étais « tirant – poussant » nécessaires en phase provisoire.

De façon similaire au DTU 20.1, avant le démarrage de la pose du premier niveau des panneaux CS2, il convient de vérifier la présence et la conformité des armatures en attente, afin de bien assurer l'ancrage des chaînages verticaux aux fondations.

Continuité des armatures de chaînage :

Pour tout l'ouvrage, le recouvrement des armatures des chaînages verticaux et horizontaux doit être :

- d'au moins 50 fois le diamètre de l'acier en zones 1 ou 2
- d'au moins 60 fois le diamètre de l'acier en zones 3 et 4.

8.3.2. Réalisation d'une semelle d'accueil

Pour le niveau Rez-de-chaussée, afin de créer une barrière anti-capillarité et de s'assurer de la pose des murs préfabriqués sur un support parfaitement plan, il est nécessaire de réaliser une semelle d'accueil à l'aplomb des murs périphériques et des murs de refend :

- Semelle en mortier hydrofugé de hauteur de moyenne 3cm
- Remontée en béton armé ou en blocs à coffrer avec mise à niveau au mortier

La mise à niveau doit avoir une tolérance ± 10 mm sur une longueur de 10m du bâtiment.

Pour la semelle de mortier : Ce mortier d'imperméabilisation est utilisé pour la coupure de capillarité en arase des murs en élévation. Cette coupure de capillarité est assurée par le choix d'un mortier de ciment fortement dosé à raison de 500 à 600 kg/m³ de sable sec 0/2 ou 0/4, additionné d'hydrofuge de masse sur une épaisseur de 3 cm et une largeur correspondant à l'épaisseur des panneaux ou légèrement inférieure (2 cm maximum). La pose débute donc quand ce lit de mortier est sec, le rôle de ce dernier étant de limiter ainsi les remontées d'humidité dans les panneaux.

Il est possible de réaliser la semelle d'accueil par des murs de soubassement banchés en béton armé ou par du bloc béton à bancher, si la tolérance de planéité ci-dessus est respectée.

8.3.3. Déchargement et pose des ETS accueillant les murs CS2 sur le chantier.

La zone de stockage doit présenter un dévers inférieur à 5% et sa portance doit être de classe PF2 minimum (ou sol à 5 bars). Il faut éviter de stocker des panneaux les uns contre les autres sans espace de circulation d'air entre eux : au minimum 2 cm d'espace sur les ETS et 5 cm si stockage hors ETS.

8.3.4. Pose de mortier sur la semelle au fur-et-à-mesure de la pose progressive des panneaux.

Ce mortier de type MAPEI Porocol ou mortier renforcé 350 WEBER ou équivalent est déposé à l'avancement en le répartissant sur toute la surface d'appui du mur et en formant 2 boudins parallèles sur une hauteur d'approximativement 3 cm. A la pose des panneaux, le mortier frais s'écrase et s'immisce dans les aspérités du béton de bois TimberRoc tout en comblant les jeux de planéité.

8.3.5. Mise en place des premiers panneaux CS2

Les premiers panneaux sont positionnés précisément sur leur emplacement définitif.

Avant le retrait des élingues, des étais tire-pousse sont fixés aux panneaux par l'intermédiaire de vis directement vissées dans le béton de bois.

D'autres systèmes de stabilisation peuvent être mis en œuvre, tels que :

- Des dispositifs d'équerrage à visser dans les angles permettant de stabiliser 2 panneaux d'angle et d'ajuster la position relative en aplomb.
- Des platines à visser pour les jonctions de panneaux droites permettant de fixer un panneau au précédent et d'ajuster la position relative en aplomb.

Les élingues peuvent être décrochées lorsque la stabilité du mur est assurée. Les étais sont maintenus en place jusqu'au durcissement du béton coulé sur les poteaux de liaison.

La pose débute dans un angle pour bénéficier de la stabilisation par l'équerrage des panneaux.

Nota : il est nécessaire de mettre en place les armatures métalliques des chaînages à l'avancement de la pose des panneaux– en particulier dans les angles qui ne sont plus accessibles ensuite.

Après fixation des étais tire-pousse et réglage approximatif de la verticalité, les élingues peuvent être décrochées. Après pose de plusieurs panneaux, il est nécessaire d'affiner l'altimétrie et l'aplomb. L'espacement de ces étais est déterminé en fonction de la surface des murs CS2 et des efforts dus au vent. Les étais, qui assurent la stabilité en phase provisoire ne doivent pas être démontés avant coulage du plancher supérieur.

Le dimensionnement des étais tire-pousse (nombre et type de tirefonds) doit être réalisé pour la valeur de vitesse de vent spécifiée dans les Documents Particuliers du Marché (DPM). En l'absence de vitesse de vent spécifiée dans les DPM, une valeur de 85 km/h, quelle que soit la direction du vent, sera retenue (en référence à la norme NF P 93 350 relative aux banches, art. 6.3.1.6).

8.3.6. Mise en place des coffrages et coulage des chaînages verticaux

Après intégration des armatures de chaînage, des coffrages en bois lisse sont directement vissés sur le béton de bois des faces intérieures des panneaux CS2 au droit des chaînages verticaux. Ceux-ci sont coulés jusqu'au niveau du chaînage horizontal.

Nécessité de calfeutrer les joints entre panneaux si nécessaire pour assurer un bon maintien du béton lors du coulage.

8.3.7. Mise en place des panneaux suivants de l'étage supérieur

La pose des panneaux de l'étage supérieur n'est possible qu'après réalisation des chaînages horizontaux ou du plancher intermédiaire.

Remarque : lors de la mise en œuvre sur chantier, il faut étayer en phase transitoire les ouvertures de largeur supérieure à 80cm avant coulage des chaînages et ou pose des planchers.

Pour la mise en place des planchers intermédiaires et des chaînages horizontaux, il est indispensable de disposer des dispositifs de sécurité en périphérie du bâtiment.

La pose se fait de façon similaire à celle des panneaux du premier niveau.

8.3.8. Dispositions particulières liées aux conditions climatiques

En phase de chantier et dans certaines conditions climatiques ou risques climatiques, il est nécessaire d'adopter des dispositions spécifiques basées sur le NF DTU 20.1 P1.1 paragraphe 5.1.2. Ainsi, lorsque la température est inférieure à 5°C, des précautions doivent être prises avec les mortier et béton coulés en place pour se prémunir contre le gel. Lors de fortes pluies / neige et de périodes de gel, les murs en béton de bois TimberRoc doivent être protégés par des bâches ou des auvents par exemple.

Pour les chantiers d'altitude $\geq 500\text{m}$, les murs en béton de bois TimberRoc devront être protégés en période d'hivernage.

8.4. Tolérances de mise en œuvre

Afin que la mise en œuvre permette d'assurer une bonne reprise des efforts verticaux sur la hauteur du bâtiment, il est nécessaire que les murs d'épaisseur identique respectent :

- Une tolérance de verticalité de maximum 50 mm sur la hauteur du bâtiment
- Une tolérance de verticalité de maximum 20 mm sur la hauteur d'un étage

8.5. Sécurité

Protection collective

Lorsque le chantier n'est pas muni de garde-corps permanents, des protections collectives temporaires doivent être installées à sa périphérie avant les interventions (article R. 4323-58 du Code du travail) : garde-corps provisoires ou dispositifs de recueil souples.

La mise en place de ces protections collectives peut être réalisée soit sans fixation aux murs de panneaux, soit en vissant directement dans les panneaux pour la mise en place des supports métalliques. Le vissage doit être réalisé au niveau de l'épaisseur pleine des panneaux et non pas des relevés de planelle intégrés. Les supports métalliques doivent être munis de platines de répartition (de dimensions minimales de 12x12 cm) afin de ne pas poinçonner le panneau.

Voir : Figure A38-A : Mise en place d'une protection collective par garde-corps – solution 1

Voir : Figure A38-B : Mise en place d'une protection collective par garde-corps – solution 2

Sécurité au travail

La sécurité du personnel est une préoccupation majeure lors de la mise en œuvre d'un chantier, les points de vigilances essentiels à suivre sont définis dans les publications de l'OPPBTP ou de la FIB.

8.6. Etanchéité à l'air du bâtiment

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.

En pied des parois CS2 en béton de bois, l'étanchéité sur les jonctions horizontales est assurée par la mise en œuvre du mortier.

En jonctions verticales, un chaînage ou poteau béton armé est coulé sur chantier à l'interface aménagée au raccord entre deux panneaux. Cette étanchéité est complétée sur la face extérieure par la protection apportée par un enduit, un bardage ou un joint apparent au mastic labelisé SNJF Façade E25.

8.7. Performances Thermiques

Les coefficients surfaciques de transmission thermique U_c des panneaux CS2 et U_p des murs d'enveloppe extérieure constitué de panneaux CS2 sont résumés dans **l'annexe n°7 « Caractéristiques hygrothermiques des murs CS2 en béton de bois »**.

NOTA : ces coefficients ont été déterminés à partir de la valeur de conductivité thermique du béton de bois issue des règles TH-Bat : $\lambda=0,16 \text{ W m}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Les différentes valeurs de ponts thermiques sont résumées dans **l'annexe n°7 « Caractéristiques hygrothermiques des murs CS2 en béton de bois »**.

8.8. Performances acoustiques

Les indices d'affaiblissement acoustique des panneaux en béton de bois sont présentés dans l'annexe n°8 « Exemples de performances acoustiques ».

En fonction de la nature des parements intérieurs ou revêtements extérieurs, l'indice d'affaiblissement acoustique des façades intégrant les panneaux CS2 peut varier. Des exemples de performances acoustiques sont résumés dans **l'annexe n°8 « Exemples de performances acoustiques »**.

8.9. Mise en œuvre des finitions extérieures

8.9.1. Les enduits de façade directs sur panneaux TimberRoc

Les travaux d'enduit doivent être réalisés conformément au NF DTU 26.1.

Choix des enduits :

Du fait de la nature du matériau TimberRoc et de ses propriétés hygrothermiques, les enduits compatibles sont les enduits monocouches au liant hydraulique (dit enduit minéral) de type OC1 et OC2.

En cas d'hétérogénéité locale, créée par un support différent du béton de bois TimberRoc, il est nécessaire de réaliser un renforcement de l'enduit.

Les aspects de finition dépendent de la composition, des propriétés du mortier et des outils utilisés ; les principaux types de finitions sont brut de projection, gratté, taloché, lissé ou tyrolien.

Concernant la teinte des enduits, le coefficient d'absorption du rayonnement solaire de l'enduit fini doit être limité à 0,7 pour réduire les contraintes thermiques pouvant entraîner la fissuration ou l'éclatement de l'enduit.

Les enduits doivent être commencés sur une pose de murs CS2 terminée depuis un délai minimal de 3 mois et avant la pose de finitions intérieures peu perspirantes. Les arases de murs et acrotères CS2 exposées aux intempéries doivent être protégées sur chantier en phase provisoire.

Les enduits assurant directement l'imperméabilisation doivent avoir un coefficient d'absorption d'eau par capillarité réduit W1 ou faible W2 pour les surfaces très exposées à la pluie.

Le NF DTU 26.1 précise les conditions générales de mise en œuvre des enduits monocouches, **l'annexe n°11 « Procédure de pose des enduits à base minéral »** détaille la procédure recommandée par CCB Greentech.

Voir : Figure A39 : Exemple partie courante Panneau avec enduit extérieur

Traitement des points singuliers :

Pour le montage de panneaux sans désolidarisation et sans joints apparents, l'enduit doit être renforcé par des armatures de type treillis de fibre de verre sur les points singuliers tels que :

- Liaisons verticales entre panneaux
- Liaisons horizontales et jonctions de planchers
- Ouvertures

Un treillis de renfort en Fibre de Verre est marouflé dans la première couche d'enduit, entre le béton de bois et l'enduit pour assurer une meilleure cohésion de celui-ci et éviter l'apparition de fissures dans l'enduit mural. Ce treillis est utilisé du côté extérieur et intérieur. Le treillis en Fibre de Verre sera conforme aux spécifications du DTU 26.1-Partie 2, avec notamment :

- traitement durable contre les aléas
- dimensions des mailles adaptées au type d'enduit (ex : 10mm)
- résistance ≥ 35 daN/cm (maille 10mm)

Pour ce faire, il est utilisé un treillis Fibre de verre bénéficiant d'une certification CSTBat : Classification TRAME et classification $T \geq 2$, $R_a \geq 1$ et $E \geq 1$.

8.9.2. Les revêtements extérieurs

Les panneaux TimberRoc peuvent recevoir sur chantier différents revêtements extérieurs rapportés :

- revêtements extérieurs ventilés avec ou sans ITE, de type bardages rapportés conformes au NF DTU 41.2 ou sous Avis Technique visant une pose sur une structure en béton ou en maçonnerie enduite. Le système de fixation et son nombre de fixations par m^2 doit être adapté en fonction de la charge globale supportée par le mur et de la capacité du béton de bois TimberRoc. Le béton de bois brut ne réalise pas seul l'étanchéité à l'air et à l'eau : cette étanchéité doit être traitée de façon distincte.

Voir : Figure A40 : Exemple partie courante Panneau avec bardages

- revêtements extérieurs de type ETICS avec enduit, en pose "calés/chevillés" ou "collés", sous Avis Technique visant une pose sur structure en béton ou en maçonnerie. Les isolants mis en œuvre

seront de type laine minérale de roche conforme à la norme NF EN 13162, polystyrène expansé conforme à la norme NF EN 13163, fibres de bois conformes à la norme NF EN 13171.

La fixation des isolants extérieurs se fait à l'aide de chevilles à frapper de type Weber Webertherm SLD-5 ou équivalent, en vérifiant le nombre à disposer en fonction des spécifications du fournisseur d'isolant extérieur et des valeurs d'essai des chevilles sur le support béton de bois.

Voir : Figure A41 : Exemple partie courante Panneau avec ETICS

Les limites de mise en œuvre des revêtements choisis, spécifiées dans les DTU ou documents d'Avis techniques, devront être respectées, même si elles sont plus restrictives que le domaine d'emploi des panneaux CS2.

Pour les bâtiments soumis à l'IT 249, des dispositions spécifiques s'appliquent : la nature et la mise en œuvre des matériaux constituant le revêtement extérieur (ventilé ou non) et le traitement des tableaux de menuiserie sont décrites aux paragraphes 8.9.4 ou dans l'appréciation de laboratoire d'EFFECTIS EFR 22-001940.

8.9.3. Principes généraux de pose des menuiseries

Les menuiseries sont posées sur les murs en panneaux de béton de bois TimberRoc de plusieurs façons :

- Pose en applique intérieur avec ITI (Isolation Thermique Intérieur),
- Pose en applique / feuillure aménagée dans l'épaisseur du panneau béton de bois, utilisable pour des configurations sans revêtement intérieur ou avec ITI,
- Pose en tunnel,
- Pose en applique extérieure.

Les menuiseries peuvent être en bois, PVC, aluminium ou mixte bois/aluminium ou acier. Les types de menuiseries utilisables sont les ouvertures à la française, simple et/ou double vantaux, oscillo-battant, tombant intérieur, à l'anglaise et coulissant.

Les réservations accueillant les menuiseries sont réalisées dans les panneaux au moment de leur fabrication. L'intégration des menuiseries peut se faire soit en atelier de préfabrication ou soit sur le site du chantier.

Il est nécessaire de rendre les surfaces de contact entre la menuiserie et le béton de bois, continues et lisses par un enduit de ragréage à base cimentaire adapté, sur lequel la compatibilité des joints d'étanchéité est avérée. Ce ragréage périphérique peut être disposé en usine de préfabrication ou sur le chantier.

La mise en œuvre des menuiseries doit suivre les NF DTU 36.1 et 36.5.

Un joint d'étanchéité est mis en œuvre sur la périphérie de la menuiserie.

Les principes de montage et de mise en œuvre sont détaillés dans **l'annexe n°10 « Dessins techniques du Dossier Technique »** avec les figures suivantes :

Figures A42 : Schémas d'intégration des menuiseries avec pose en applique

Figures A43 : Schémas d'intégration des menuiseries avec pose en applique / feuillure

Les menuiseries sont soit montées par des pattes de fixation métalliques de type équerres avec vissages dans le béton de bois et dans les dormants (pose en applique) soit par vissage dans le dormant directement (pose en applique / feuillure ou tunnel). Dans ce cas, le vissage se fait avec des vis filetées sur toute leur hauteur, de diamètre minimum 8mm et de longueur minimum 100mm.

8.9.4. Détails des traitements des tableaux de menuiseries en fonction de la finition extérieure pour respect de l'IT249

Les différentes dispositions particulières ci-dessous sont définies dans l'Appréciation de laboratoire EFR 22-001940 d'EFFECTIS relative au comportement au feu d'un élément de façade selon le paragraphe 5.3 de l'IT 249 : 2010, les arrêtés du 7 août 2019, ainsi que l'arrêté du 10 septembre 1970 du Ministère de l'Intérieur et de son protocole d'applications entériné en CECMI en juin 2013.

Les façades réalisées en TimberRoc CS2 peuvent recevoir différents types de revêtements extérieurs.

Enduit

Les systèmes d'enduits employés devront répondre aux caractéristiques minimales figurant dans le Guide de Préconisations : « Protection contre l'incendie des façades béton ou maçonnerie revêtues de systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) » - Septembre 2020.

L'enduit hydraulique est mis en œuvre directement sur les panneaux en béton de bois TimberRoc au niveau des tableaux et linteaux. Les appuis sont réalisés soit avec un appui béton préfabriqué, soit avec un appui béton coulé en place, soit avec un appui isolé de type ARKTIC ou avec une pièce d'appui en acier 10/10^{ème} et avec une pente mini de 10%.

Système d'ETICS

La façade peut recevoir un système d'isolation thermique par l'extérieur de type enduit sur isolant en laine de roche.

La laine de roche aura pour masse volumique minimum 70 kg/m³, et une épaisseur minimale de 20 mm. Les panneaux isolants sont posés "calé/chevillé" sur les panneaux en béton de bois TimberRoc.

Les tableaux des baies sont isolés par retour du système d'ETICS en tableaux et en linteaux (épaisseur de la laine de roche 20 mm et 120 kg/m³ minimum). Les appuis sont réalisés avec une pièce d'appui en acier 10/10^{ème} et avec une pente mini de 10%, ou un appui isolé de type ARKTIC, disposé sur un isolant laine de roche 20 mm et 120 kg/m³.

Les systèmes d'enduits employés ainsi que leur mise en œuvre devront répondre aux caractéristiques minimales figurant dans le Guide de Préconisations : « Protection contre l'incendie des façades béton ou maçonnerie revêtues de systèmes d'isolation thermique extérieure par enduit sur polystyrène expansé (ETICS-PSE) » - Septembre 2020.

Bardages ventilés

La façade ainsi réalisée peut recevoir un bardage rapporté ventilé répondant aux prescriptions des paragraphes 2.1.1 à 2.1.3 de l'Appréciation de Laboratoire : « Bois construction et propagation du feu par les façades - En application de l'Instruction Technique 249 version 2010 – décembre 2020 (CSTB) ».

L'ensemble des dispositions associées indiquées dans ce document devront être appliquées et notamment :

- La mise en œuvre d'un déflecteur de flamme à chaque niveau avec débord variable,
- La présence ou non de dispositif d'obturation de lame d'air.

Les valeurs de débord du déflecteur de flammes sont définies en fonction des caractéristiques du bardage mis en œuvre. Elles sont indiquées dans les tableaux ci-dessous :

Valeurs de débords du déflecteur en acier 15/10^{ème} par rapport au nu extérieur du revêtement :

Performances de réaction au feu des revêtements extérieurs ventilés	Nature du revêtement extérieur		
	Panneaux à joints fermés ou à joints creux supportés de 8 mm maximum	Bardage bois à lames horizontales d'épaisseur nominale supérieure ou égale à 26 mm	Bardage bois à lames verticales ou obliques d'épaisseur nominale supérieure ou égale à 26 mm
D-s2, d0	≥ 150mm	≥ 150 mm	≥ 200 mm
C-s2, d0	≥ 100mm	≥ 100 mm	≥ 200 mm
B-s3, d0	≥ 50 mm	≥ 50 mm	≥ 50 mm
A2-s3,d0	≥ 20 mm	Sans objet	Sans objet

Valeurs du déflecteur renforcé en acier 15/10^{ème} par rapport au nu extérieur du revêtement :

Performances de réaction au feu des revêtements extérieurs ventilés	Nature du revêtement extérieur	
	Panneaux à joints fermés ou à joints creux supportés de 8 mm maximum, d'épaisseur nominale égale entre 18 et 22 mm	Bardage bois à lames verticales ou obliques d'épaisseur nominale égale à 20 mm et inférieure ou égale à 22 mm
D-s2, d0	≥ 200mm	≥ 200 mm
C-s2, d0	≥ 200mm	≥ 200 mm
B-s3, d0	≥ 50 mm	Pas de solution

Embrasures : Cas sans isolation thermique extérieure

Les tableaux et linteaux sont traités avec un habillage en acier 10/10^{ème}. Le profil d'habillage du linteau présente une saillie minimum de 20mm par rapport au nu extérieur du revêtement extérieur ventilé. Les appuis sont réalisés avec une pièce d'appui en acier 10/10^{ème} et avec une pente mini de 10%.

Embrasures : Cas avec isolation thermique extérieure

L'isolant utilisé est en laine de roche de masse volumique minimum de 70kg/m³ entre chevrons bois fixés aux panneaux en béton de bois TimberRoc. Les tableaux et linteaux sont traités avec un habillage en acier 10/10^{ème} appliqué sur un isolant en laine de roche de masse volumique minimum de 120kg/m³ et d'épaisseur 20mm. Le profil d'habillage du linteau présente une saillie de 20mm minimum par rapport au nu extérieur du revêtement extérieur ventilé et une surface d'amenée d'air de 50cm²/ml maximum. Les appuis sont réalisés avec une pièce d'appui en acier 10/10^{ème} et avec une pente mini de 10%.

Les mises en œuvre exposées dans les figures A42 et A43 sont conformes à l'IT 249.

8.10. Mise en œuvre des finitions intérieures

Les panneaux TimberRoc peuvent recevoir sur chantier différents parements intérieurs :

1/ Finition brute avec lasure ou peinture directe

2/ Plaques de plâtre rapportées :

- sur une ossature secondaire bois ou métallique fixée directement sur les panneaux TimberRoc. Leur mise en œuvre devra être conforme aux prescriptions des NF DTU 25.41 et 36.1.
- ou sur une ossature secondaire dissociée et indépendante du panneau TimberRoc de type contrecloison désolidarisée. Sa mise en œuvre devra être conforme aux prescriptions de la norme NF DTU 25.41,

Le doublage intérieur rapporté devant les panneaux TimberRoc peut être isolé ou non.

3/ Complexe de plaques de plâtre disposées sur isolant rigide, en pose colée directement sur le panneau béton de bois et conformes à la EN 13950 :2014 pour supports en béton ou maçonnerie.

9. Distribution & Assistance Technique

9.1. Distribution

La distribution des panneaux porteurs CS2 TimberRoc est réalisée directement et exclusivement par la société CCB GREENTECH depuis le site de production situé à Beaurepaire (38), ainsi que par les sociétés partenaires (industriel fabricant licencié) depuis leur propre site de production.

9.2. Etudes techniques

Pour les projets de construction non concernés par l'application de l'Eurocode 8 (voir paragraphe 4.3), les études techniques (notes de calculs et dossiers de plans) d'un projet peuvent être réalisées directement par le bureau d'études interne du fabricant des panneaux TimberRoc en charge du projet ou par la société CCB GREENTECH.

Lorsque les projets de construction nécessitent des vérifications selon l'Eurocode 8 (voir paragraphe 4.3), les études techniques doivent être réalisées par des bureaux d'études techniques Structure (BET), internes ou externes, ayant été avertis du présent dossier technique au préalable par la société CCB GREENTECH.

En amont des études techniques, la société CCB GREENTECH, les fabricants licenciés et les BET externes peuvent proposer l'une ou l'ensemble des missions suivantes :

- aide à la prescription et au chiffrage auprès de la maîtrise d'ouvrage et/ou maîtrise d'œuvre,
- appui technique en phase projet,
- assistance au pilotage et à la coordination avec les autres corps d'états.

9.3. Assistance chantier

La société CCB GREENTECH et les fabricants licenciés fourniront systématiquement au client une documentation technique sur les spécificités de mise en œuvre des panneaux porteurs CS2 TimberRoc. De plus, l'ensemble des nouveaux clients ou des clients utilisant pour la première fois les panneaux TimberRoc seront assistés par un formateur compétent, de la société ayant produit les panneaux (société CCB GREENTECH ou fabricant industriel licencié). L'assistance portera tant sur l'aide à la préparation du chantier que lors du montage des premiers panneaux TimberRoc.

B. Résultats expérimentaux

1. Propriétés de résistance mécanique

- **Essais de détermination des CMU des ancrages de levage des panneaux TimberRoc**

Caractérisation réalisée en suivant le protocole référencé dans les listes minimales des familles de « Système de levage incorporé », « Mur à coffrage intégré », « Mur à coffrage et isolation intégrés » et « Mur de façade de types panneaux sandwich ». Ce protocole est défini par la commission chargée de formuler les avis techniques (CCFAT) du CSTB. Le programme d'essai réalisé respecte strictement ce protocole pour les configurations A1 et A2.

Document RE1 : Rapport d'essais du LMC2 d'octobre 2021 intitulé « ESSAIS A RUPTURE SUR BOUCLES DE LEVAGE DE MUR en BOIS BETON »

Principaux résultats : Ceux-ci sont repris et détaillés dans le dossier des annexes : Annexe n°2 « Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – Charges Maximales Utilisables – CMU ».

- **Essais de compression sur éprouvettes**

Caractérisation mécanique en compression d'éprouvettes TimberRoc selon la norme NF EN 12390-3 : Essais pour béton durci — Partie 3.

Document RE2 : Rapport du LMC2 de Novembre 2019 intitulé « Essais de compression sur cylindre avec conditions hygrométriques ».

Document RE3 : Rapport RA-TCA0045 du CERIBOIS de Janvier 2022 intitulé « Essais de compression sur banc de rupture sur du béton de bois ».

Principaux résultats et analyses :

Une valeur moyenne (ou normalisée) sur éprouvette supérieure à 4,0 Mpa pour une teneur en eau des panneaux d'environ 17 % HR.

- **Essais de compression sur trumeaux en charge décentrée :**

Caractérisation des performances de résistance en compression sur des trumeaux CS2 selon les modalités définies dans la norme NF EN 1052-1 [8].

Document RE4 : Rapport d'essais CSTB de mai 2022 n° 21-08281-C Concernant des essais de compression sur murs en béton de bois.

Principaux résultats :

4 épaisseurs de panneaux ont été testées en charge décentrée : les valeurs de résultat obtenues permettent de justifier la méthode de dimensionnement en 4.5.

- **Essais de compression sur trumeaux en charge centrée :**

Caractérisation des performances de résistance en compression sur des trumeaux CS2 selon les modalités définies dans la norme NF EN 1052-1 [8].

Document RE4 : Rapport d'essais CSTB de mai 2022 n° 22-08281-C Concernant des essais de compression sur murs en béton de bois.

Principaux résultats :

1 épaisseur de panneau a été testée en charge centrée : les valeurs de résultat obtenues permettent de justifier la méthode de dimensionnement en 4.5.

- **Essais de contreventement du principe constructif CS2 - Essai de chargement quasi-statique alterné**

Performances d'un mur en béton de bois selon les modalités de la NF EN 772-1+A1 (décembre 2015) : Méthodes d'essai des éléments de maçonnerie : détermination de la résistance à la compression.

Document RE5 : Rapport d'essais du CSTB n°EEM 22-08281-D concernant des essais de contreventement sur un procédé en béton de bois (TimberRoc).

Principaux résultats :

3 essais ont été réalisés avec des panneaux d'épaisseur 24cm, de hauteur 275cm et de longueur 375cm avec des chaînages verticaux en béton armé 4HA8 de section 14*14cm et excentrés sur la face intérieure. 1 essai a été réalisé avec un panneau d'épaisseur 28cm, de hauteur 275cm et de longueur 375cm avec des chaînages verticaux en béton armé 4HA8 de section 14*14cm et excentrés sur la face intérieure. On peut considérer que dans la configuration des essais, les panneaux de béton de bois en 24cm avec leurs chaînages sont capables de supporter de l'ordre de 400 kN en moyenne en effort horizontal et jusqu'à 12mm de déplacement en contreventement avant ruine et perte des propriétés de résistance.

Ces essais permettent aussi d'évaluer le coefficient de comportement selon cahier technique CCFAT « 27/11/2018 - AVIS TECHNIQUES D'ELEMENTS DE MACONNERIE INTERPRETATION DES ESSAIS DE CONTREVENTEMENT » : il est supérieur à 2,5 en calcul théorique, on retient $q=2,5$.

- **Essais de cisaillement sur éprouvettes béton de bois - béton**

Caractérisation mécanique en cisaillement de blocs béton de bois-béton selon la norme NF EN 1052-3 :2003-04 : Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement.

Document RE6 : Rapport d'essais du LMC2 de novembre 2019 « Essais de cisaillement sur blocs en béton de bois ».

Principaux résultats :

Les valeurs utilisées pour le dimensionnement sont détaillées dans la partie 4.5.

- **Essai de flexion hors plan sur panneaux de béton de bois**

Caractérisation mécanique de la flexion 4 points d'un panneau de béton de bois conformément à la norme NF EN 1052-2.

Document RE7 : Rapport d'essais du CSTB n°EEM 22-08281-B concernant des essais sur un procédé en béton de bois (TimberRoc).

Principaux résultats :

Selon la norme NF EN 1052-2, la résistance caractéristique est définie comme la contrainte moyenne divisée par un coefficient égal à 1,5. Par conséquent en considérant la valeur moyenne des résultats, on obtient $f_k = 1,40$ MPa.

- **Essai d'arrachement et cisaillement de tirefonds / vis**

Caractérisation à l'arrachement et en cisaillement de différentes vis mécaniques en statique et en cyclique suivant le cyclage préconisé par le CSTB.

Document RE8 : Rapport d'essais du LMC2 de Mai 2022 « Essais d'arrachement sur blocs béton de bois ».

Principaux résultats :

Tenue à l'arrachement avant ruine : tirefond 12*160 : 7,9kN et tirefond 12*240 : 14.6kN

- **Essai de fluage**

Caractérisation de la résistance au fluage du béton de bois TimberRoc.

Document RE9 : Rapport d'essais du LMC2 de Mai 2022 « Essais sur béton de bois : Essais de fluage en compression »

Résultats principaux :

Les éprouvettes sont soumises à une contrainte de compression constante de 0,8 MPa. Au bout de 3 mois, l'essai est poursuivi mais une extraction des enregistrements constate que les déformations sont stabilisées et qu'un coefficient de fluage de 1,9 peut être déterminé.

2. Propriétés de résistance et réaction au feu

- **Essai de résistance, étanchéité et isolation au feu des murs béton de bois TimberRoc d'épaisseur 24cm**

Détermination de la satisfaction aux critères de performances de l'article 4 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié et essais selon la EN 1363-1 (2020 : 02) « Essais de résistance au feu – Partie 1 : Exigences générales » et selon la EN 1365-1 (2012 : 12) « Essais de résistance au feu des éléments porteurs. Partie 1 : Murs ».

Document RE10 : Rapport d'essais du CSTB n° DSSF21-04560 Concernant un mur porteur.

Document RE11 : Procès-verbal de classement n°RS21-020 - Version du 28/10/2021.

Principaux résultats :

Chargement du mur à 220 kN / m

Critères R : 79 min ; E : 79 min et I : 79 min

- **Essais de résistance, étanchéité et isolation au feu des murs béton de bois TimberRoc d'épaisseurs 20cm et 40cm**

Détermination de la satisfaction aux critères de performances de l'article 4 de l'arrêté du 22 mars 2004 modifié et essais selon la EN 1363-1 (2020 : 02) « Essais de résistance au feu – Partie 1 : Exigences générales » et selon la EN 1365-1 (2012 : 12) « Essais de résistance au feu des éléments porteurs. Partie 1 : Murs ».

Document RE12 : Rapport d'essais du CSTB n° DSSF20-01910/B Concernant un mur porteur.

Document RE13 : Procès-verbal de classement n°RS21-011/B - Version du 16/04/2021.

Document RE14 : Rapport d'essais du CSTB n° DSSF20-01910/C Concernant un mur porteur.

Document RE15 : Procès-verbal de classement n°RS21-011/C - Version du 16/04/2021.

Principaux résultats :

Mur de 20 cm : charge 160 kN / ml. Critères R : 71 min ; E : 71 min ; I : 71 min

Mur de 40 cm : charge 320 kN / ml. Critères R : 181 min ; E : 181 min ; I : 181 min

- **Appréciation de laboratoire sur les performances au feu REI des murs porteurs TimberRoc**

Appréciation du Laboratoire de résistance au feu du CSTB définissant les plages d'utilisation et performances des panneaux porteurs en béton de bois TimberRoc.

Document AL01 : Appréciation de Laboratoire du CSTB n°AL21-304_CCB_Murs-porteurs-CS2_v1

Principaux résultats :

Détail dans l'annexe n°5 : Sécurité Incendie

- **Essais de la masse combustible mobilisable de panneaux en béton de bois TimberRoc**

Détermination de la Chaleur de Combustion Mobilisable (CCM) de résistance au feu de deux éprouvettes de béton de bois TimberRoc selon EN 1363-1 : 2020 et Annexe A2 de l'Instruction Technique n°249 : 2010.

Document RE16 : Rapport d'Essais du laboratoire Efectis n°EFR -21-F-001489 « Note de laboratoire de résistance au feu ».

Principaux résultats :

Chaleur de combustion mobilisable de l'échantillon d'épaisseur 24 cm = 0,108 MJ/kg.

- **Essais de réaction au feu / Pouvoir Calorifique Supérieur**

Détermination du classement au feu de panneau en matériau béton de bois TimberRoc et du PCS

Document RE17-1 : Rapport PV EFR-21-004492A de Efectis « Procès-Verbal de classement de réaction au feu du béton de bois ».

Document RE17-2 : Rapport RC EFR-21-004492 de Efectis « Rapport de classement de réaction au feu du béton de bois ».

Document RE17-3 : Rapport d'essais RE EFR-21-HC-004492 de Efectis « Rapport d'essais du PCS ».

Document RE17-4 : Rapport d'essais RE EFR-21-SBI-004492 de Efectis « Rapport d'essais de réaction au feu »

Principaux résultats :

- Classement A2 – s1-d0

- **Appréciation de laboratoire de propagation au feu en façade des murs porteurs TimberRoc**

Appréciation du Laboratoire de résistance au feu de Efectis définissant les plages d'utilisation, les performances et les conditions de mise en œuvre des panneaux porteurs en béton de bois TimberRoc pour respecter l'Instruction Technique IT 249.

Document AL02 : Appréciation de Laboratoire d'Efectis EFR-22-001940 - CBB GREENTECH APL mur Béton de bois CS2

Principaux résultats :

Détail dans l'annexe n°5 : Sécurité Incendie

3. Sécurité intérieure

Essais de résistance aux chocs de sécurité intérieur

Caractérisation de la résistance aux chocs de sécurité intérieur avec impact de corps mou

Document RE18 : Rapport du LMC2 de Mai 2022 « Essai sur panneaux en béton de bois - choc mou »

Principaux résultats :

Le choc mou sur le dispositif pendulaire avec sac de choc de 50kg – énergie de 900 Joules – ne provoque aucun désordre visible sur un panneau en TimberRoc de 16cm d'épaisseur.

4. Propriétés thermiques et comportement hygrothermique

- **Essais de dilatation thermique**

Caractérisation de la dilatation thermique du béton de bois par un protocole interne FCBA basé sur la norme ISO 11359-2 d'octobre 1999 « Analyse thermomécanique (TMA) – partie 2 : Détermination du coefficient de dilatation thermique linéique et de la température de transition vitreuse.

Document RE19 : Rapport d'essais 403/21/0428/B-1-v3 du FCBA – 10/12/2021 : Dilatation thermique d'un système à base de béton de bois.

Résultats principaux :

Valeurs moyennes de 16.10^{-6} à $20.10^{-6} \text{ K}^{-1}$: Cohérent avec la fourchette de valeurs issue de la NF EN 1992-1-1. A prendre en compte pour les projets pour lesquels les effets de la température ne peuvent pas être négligés.

- **Essais de dilatation hygrothermique**

Caractérisation de la dilatation hygrothermique du béton de bois

Document RE20 : Rapport d'essais 403/21/0428/B-2-v3 du FCBA – 10/12/2021 : Dilatation hygrothermique d'un système à base de béton de bois.

Résultats principaux :

Variations dimensionnelles moyennes dans le sens largeur / longueur : $\Delta 0,1\%$

- **Essais de capacité thermique massique**

Détermination de la capacité thermique massique d'un matériau type béton de bois avec un calorimètre différentiel suivant la méthode de mesure en « programmation étagée ». L'essai consiste à déterminer, au cours d'un programme de montée en température, les quantités de chaleur échangées entre les cellules et le bloc calorimétrique.

Document RE21 : Rapport d'essais P212466 – Document DMSI/1 du LNE – 8 juin 2021.

Résultats principaux :

Capacité thermique massique à 23°C : $C_p = 1220 \text{ J/(kg.K)}$

- **Essais de caractérisation du déphasage thermique et du taux d'affaiblissement thermique**

Caractérisation du comportement d'un mur d'épaisseur 34cm en béton de bois vis-à-vis du déphasage thermique et du taux d'affaiblissement thermique par des essais dits « en boîte chaude ».

Document RE22 : Rapport d'essai de l'Ecole Nationale Supérieure des Technologies et Industries du Bois sur le matériau béton de bois : déphasage thermique et taux d'affaiblissement thermique.

Résultats principaux :

Les résultats sont un déphasage thermique de 21h et un taux d'affaiblissement thermique de 95% minimum.

- **Simulation du comportement hygrothermique**

Document AL03-1 : Rapport de calcul P220247/2 du LNE de Mai 2022 « Calcul de transferts hygrothermiques dans les parois en béton de bois ».

Résultats principaux :

Les 6 cas suivants ont été traités dans la présente étude avec $W/n = 5 \text{ g/m}^3$

Cas n°1 : Enduit ext + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Cas n°2 : Enduit ext + Laine de Roche + TimberROC 16cm + Bois + BA13

Cas n°3 : Enduit ext + Laine de Roche + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Cas n°4 : Bardage bois ventilé + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Cas n°5 : Bardage bois ventilé + Laine de Verre + TimberROC 16cm + Bois + BA13

Cas n°6 : Bardage bois ventilé + Laine de Verre + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Ces calculs sont réalisés pour la ville de NANCY, avec le logiciel WUFI 2D-4.

Document AL03-2 : Rapport de calcul P220247/3 du LNE de Mai 2022 « Calcul de transferts hygrothermiques dans les parois en béton de bois ».

Résultats principaux :

Les 4 cas suivants ont été traités dans la présente étude :

Cas n°1 : Enduit ext + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13 Hydro : avec $W/n = 7,5 \text{ g/m}^3$

Cas n°2 : Enduit ext + TimberROC 24cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Cas n°3 : Bardage bois ventilé + TimberROC 24cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Cas n°4 : Enduit Ext ($\mu 200$) + TimberROC 16cm + Air non ventilé + Laine de Verre + BA13

Ces calculs sont réalisés pour la ville de NANCY, avec le logiciel WUFI 2D-4.

Les rapports des études hygrothermiques indiquent que le risque de condensation aux interfaces des matériaux (création d'eau liquide), n'est pas avéré pour les configurations simulées.

- **Etude thermique du procédé constructif en panneaux CS2**

Document AL04 : Etude thermique :

- Calculs des coefficients de transmission surfacique U_p
- Calculs des ponts thermiques linéaires Ψ

5. Propriétés acoustiques

- **Essais d'affaiblissement acoustique des parois TimberRoc**

Essais mesures d'indice d'affaiblissement acoustique aux bruits aériens selon la NF EN 10140 et la NF EN 717-1.

Document RE23 : Rapport d'essais du CSTB 22

Résultats principaux :

Ceux-ci sont résumés dans l'annexe n°8 « exemples de performances acoustiques »

6. Etanchéité et diffusion de vapeur d'eau

- **Essais d'étanchéité à l'air et à l'eau**

Caractérisation de la performance de l'étanchéité à l'eau et à l'air de murs en panneaux en béton de bois TimberRoc.

Caractérisation d'un assemblage de 2 murs de 30cm d'épaisseur par feuillure collée au mortier :

Document RE24-1 : Rapport d'essais n° EEM 09 26022105 du CSTB - 26 octobre 2009 « Essais d'étanchéité à l'air et à l'eau sur maçonnerie en composite ciment bois »

Résultats principaux :

Mur de 30 cm avec enduit hydraulique à base chaux.

Essai 1 de détermination de la perméabilité à l'air en pression et dépression : pas de débit de fuite d'air jusqu'à 450 Pa.

Essai 2 de vérification de l'étanchéité à l'eau : pas de débit de fuite d'eau jusqu'à 1200 Pa.

Essai 3 de détermination de la perméabilité à l'air en pression et dépression : pas de débit de fuite d'air jusqu'à 300 Pa.

Caractérisation de panneaux avec différentes finitions :

Document RE24-2 : Rapport d'essais du CERIB n°032871 « Essai Etanchéité à l'eau d'un panneau 24cm brut »

Document RE24-3 : Rapport d'essais du CERIB n°032873 « Essai Etanchéité à l'air d'un panneau 24cm brut »

Document RE24-4 : Rapport d'essais du CERIB n°036821 « Essai Etanchéité à l'eau d'un panneau 16cm enduit extérieur »

Document RE24-5 : Rapport d'essais du CERIB n°032881 « Essai Etanchéité à l'air d'un panneau 16cm enduit extérieur »

Document RE24-6 : Rapport d'essais du CERIB n°037672 « Essai Etanchéité à l'eau d'un panneau 24cm enduit intérieur »

Document RE24-7 : Rapport d'essais du CERIB n°037673 « Essai Etanchéité à l'air d'un panneau 24cm enduit intérieur »

- **Essais de perméabilité à la vapeur d'eau**

Caractérisation de la perméabilité à la vapeur d'eau de murs en béton de bois TimberRoc selon la norme NF EN 12572 d'octobre 2016 : Performance hygrothermique des matériaux et produits du bâtiment – Détermination des propriétés de transmission de la vapeur d'eau – méthode de la coupelle.

Document RE25 : Rapport d'Essais n°403/21/0428/B-4-v2 du FCBA – 16/12/2021 « Détermination des propriétés de transmission de vapeur d'eau d'un système à base de béton de bois ».

Résultats principaux :

Facteur de diffusion de la vapeur d'eau : $\mu = 10$ (coupelle humide)

Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau (humide) :

Pour une paroi de 24 cm : $S_d = 2,4$ m

Pour une paroi de 30 cm : $S_d = 3,0$ m

- **Essais de l'absorption d'eau et de la porosité accessible à l'eau du béton de bois**

Caractérisation de l'absorption d'eau à court terme par immersion partielle et de la porosité accessible à l'eau selon la NF EN 15148 et la EN 1609 NF P 18-459.

Document RE26-1 : Rapport d'Essais n°P212466.2 – Document DEC / 2 du LNE du 7/10/2021.

- **Essais de sorption - désorption à l'eau du béton de bois**

Caractérisation de la sorption hygroscopique du béton de bois selon la NF EN ISO 12 571.

Document RE26-2 : Rapport d'Essais n°P212466.3 – Document DEC / 3 du LNE du 7/10/2021.

Principaux résultats :

Obtention des courbes de l'état hygroscopique du béton de bois en fonction de l'hygrométrie extérieure.

- **Essais sur le comportement au gel/dégel**

Caractérisation au gel/dégel du béton de bois selon l'annexe C de la norme NF EN 771-1/CN : 2017-12.

Document RE27 : Rapport d'essais du LMC2 de mai 2022 « Essais sur éprouvettes en béton de bois - Gel / Dégel ».

Principaux résultats :

Perte de masse après les cycles gel-dégel très limitée et inférieure au seuil de 10% indiqué dans la NF EN 14474.

7. Propriétés de durabilité

- **Essais de résistance aux termites ; Rapport FCBA N° 401/19/0772 du 6 janvier 2020.**

Evaluation de la résistance du béton de bois TimberRoc selon la NF EN 118 adaptée.

Document RE28 : Rapport d'essais n° 4011910772 du FCBA - 06/01/2020 présentant une évaluation de la résistance du béton de bois aux termites.

Principaux résultats :

Selon les conclusions de l'étude, le matériau Béton de bois ne fait pas obstacle à la pénétration des termites dans le bâtiment. Il y a absence de dégradations des fibres ce qui montre que l'activité des termites n'a pas d'incidence sur les propriétés physiques du matériau.

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

- **Essai de stabilité dimensionnelle**

Détermination des variations dimensionnelles entre états conventionnels extrêmes du béton de bois TimberRoc conformément aux modalités décrites dans la norme NF EN 772-14 [1].

Document RE29 : Rapport d'essais du laboratoire LMC2 de l'Université Claude Bernard Lyon 1 de novembre 2019 présentant les essais de variations dimensionnelles sur le béton de bois.

Le Cahier du CSTB 2703 : « Etude de faisabilité des procédés de construction à base de béton de bois », préconise une valeur cible de 1mm/m, valeur supérieure aux résultats des essais.

- **Essais de résistance mycologique**

Evaluation de la résistance du matériau béton de bois au développement des moisissures selon la méthode FCBA BIO M007.

Document RE30 : Rapport d'essai n° 40111910772 BIS/1 du FCBA - 21/12/12019

Résultats principaux :

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.

- **Résistance arrachement support béton de bois :**

Caractérisation de la classe Rt de murs en béton de bois au sens du DTU 26.1 et sur la base de la norme NF EN 1015-12.

Document RE31-1 : Rapport d'essais du 16/05/2022 n° 037516 du CERIB

Résultats principaux :

Les essais donnent une valeur moyenne d'environ 1,1 Mpa de résistance à l'arrachement. Le support béton de bois est donc classé Rt3.

- **Résistance adhérence enduits – support béton de bois :**

Caractérisation mécanique de l'adhérence entre un mortier et le support bois-béton selon la norme NF EN 1015-12 : « Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie —Partie 12 : Détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports » et par la norme EN 1542 "Mesurage de l'adhérence par traction directe".

Document RE31-2 : Rapport d'essais du CERIB n° 036961 du 07/04/2022

Résultats principaux :

Les essais ont été réalisés sur 6 séries de 5 supports en béton de bois de dimensions nominales 550 x 150 x 160mm et recouverts avec différents enduits. Adhérence par traction directe de l'enduit sur béton de bois TimberRoc. Le collage des pastilles de 50 mm de diamètre a été réalisé par une colle époxy à deux composants à prise rapide.

C. Références

1. Données environnementales

Le panneaux béton de bois TimberRoc en 30cm d'épaisseur a fait l'objet d'une Fiche de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) individuelle. Cette FDES a été mise à jour en novembre 2021 et a fait l'objet d'une vérification par tierce partie indépendante selon l'arrêté du 31 août 2015 et est déposée sur le site : www.inies.fr.

Le granulats de bois additivés nécessaires à la fabrication du béton de bois TimberRoc a fait l'objet d'un Module de Déclaration Environnementale (ICV : Inventaire de Cycle de Vie pour les étapes A1 à A3) individuel. Ce module a été publié en décembre 2021 et a fait l'objet d'une vérification par tierce partie indépendante selon l'arrêté du 31 août 2015 et est déposée sur le site : www.inies.fr.

Les données issues des déclarations environnementales ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux et du bilan carbone des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés.

2. Sites de production licenciés

(Classement alphabétique)

CCB Greentech

515 route de Marcollin, 38270 Beaurepaire

R-Technologies – HOLDING CHEMINAL

229 Route des Grands Champs Sud, 74580 VIRY

Spurgin Ile de France / Ouest

1 allée du Petit Courtin, ZA des Bois Gueslin, 28630 MIGNIERES

Spurgin Grand Est

Rue Louis Renault Z.I., 68127 SAINTE-CROIX-EN-PLAINE

Spurgin Nord

Route de Ham, 80190 NESLE

Spurgin Rhône-Alpes

Allée des noisetiers, 01150 BLYES

Spurgin Sud

ZAC du grand pont, rue de l'Ouest, 13640 LA ROQUE D'ANTHERON

Dossier des Annexes

SOMMAIRE du dossier des Annexes

1.	Annexe n°1 : Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin.....	79
1.1.	Gestion d'un projet de conception de bâtiment en panneaux CS2	79
1.2.	Règles de conception des panneaux CS2	80
2.	Annexe n°2 : Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – Charges Maximales Utilisables - CMU	102
3.	Annexe n°3 : Exemple de calcul de dimensionnement	105
D.	Description du bâtiment et hypothèses de calcul.....	105
E.	Descente de charges	106
F.	Dimensionnement vis-à-vis des charges verticales :.....	107
G.	Capacité de contreventement.....	109
4.	Annexe n°4 – Caractéristiques du matériau Béton de bois	111
5.	Annexe n°5 – Sécurité incendie	115
6.	Annexe n°6 : Notice de montage des panneaux CS2 de hauteur $\leq 3,3\text{m}$.....	116
7.	Annexe n°7 : Caractéristiques hygrothermiques des murs CS2 en béton de bois.....	126
8.	Annexe n°8 : Exemples de performances acoustiques.....	131
9.	Annexe 9 : Transport et stockage des panneaux TimberRoc.....	132
10.	Annexe n°10 : Dessins techniques du Dossier Technique	135
11.	Annexe n°11 : Procédure de pose des enduits à base minérale	163
12.	Annexe n°12 : Etudes de cas en principe constructif CS2	169

1. Annexe n°1 : Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de dessin

1.1. Gestion d'un projet de conception de bâtiment en panneaux CS2

1.1.1. Documents de référence

Pour réaliser la conception et la mise en œuvre d'un bâtiment en panneaux CS2, les documents de référence principaux sont les suivants :

- 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
- NF A 35-080

- Dossier technique – Principe constructif CS2 et dossier des annexes

1.1.2. Rôle des acteurs et intervenants

Rôle de l'utilisateur

L'utilisateur doit réaliser l'ouvrage en respectant les plans architecturaux. Le choix de la technique de construction est généralement effectué en amont lors de l'étude du projet. Sur le chantier, toutes les opérations liées à l'utilisation du procédé murs préfabriqués CS2 se font sous l'autorité du responsable de la mise en œuvre, membre à part entière de l'entreprise utilisatrice. Suivant la taille et l'organisation de l'entreprise, cette personne sera un membre de l'encadrement du chantier, conducteur de travaux, chef de chantier ou chef d'équipe choisi préférentiellement dans l'encadrement des ouvrages verticaux. Du fait de sa position hiérarchique, le responsable de la mise en œuvre des murs préfabriqués CS2 a pour vocation de donner les instructions aux opérateurs et de les former à leur poste de travail, y compris sur les aspects sécurité. Il convient donc pour l'utilisateur de désigner au plus tôt le responsable de la mise en œuvre, qui devra donc être compétent sur tous les aspects techniques.

Rôle de l'industriel fabricant

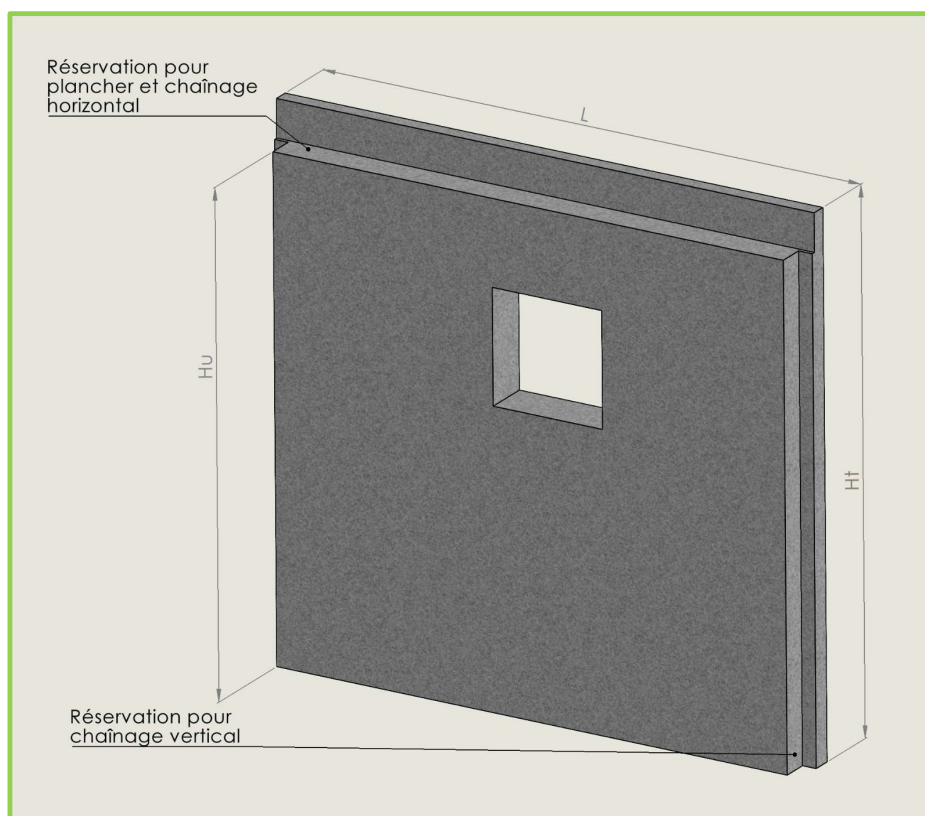
L'étude technique du BE (plans de coffrage, d'armatures et note de calculs) de l'utilisateur est transmise au fournisseur – industriel préfabricant avec l'ensemble des informations décrivant les contraintes du chantier pour lui permettre d'élaborer le dossier technique des murs préfabriqués CS2. L'industriel vérifie, conçoit et réalise les murs préfabriqués CS2 au profit de l'entreprise de gros œuvre en respectant les préconisations du dossier Technique et des guides fournis par CCB Greentech. Sur la base des éléments transmis par l'entreprise, l'industriel s'assurera de la faisabilité à utiliser du mur préfabriqué CS2 dans la ou les zones demandées par l'entreprise. Il concevra les murs avec l'entreprise et le bureau d'études structure sur la base des études de structure de l'ouvrage, en réalisant les études complémentaires liées à l'utilisation des murs préfabriqués CS2 et des contraintes de chantier.

Rôle du BE

Le bureau d'étude structure dimensionne l'ouvrage et fournit à l'utilisateur et au fournisseur les plans de coffrage et de ferrailage ainsi que les éventuelles notes de calculs. Le bureau d'études, ou la maîtrise d'œuvre, est le garant de la synthèse des interfaces entre les autres principes constructifs du chantier et les corps d'état secondaires. Il contrôle les éventuelles notes de calcul complémentaires effectuées par le fournisseur.

1.2. Règles de conception des panneaux CS2Principales abréviations utilisées

CV	Chaînage Vertical (CVP ou CVI)
CVP	Chaînage Vertical Principal
CVI	Chaînage Vertical Intermédiaire (dit secondaire également)
CR	Chaînage de Renfort
PC	Panneau en Partie Courante
CT	Panneau en Contreventement
S	Surface ouverture en m ²

Vue globale d'un panneau CS2 en 24 cm d'épaisseur*Figure 1A*

Vue globale d'un panneau
en béton de bois CS2

1.2.1. Règles pour la géométrie des panneaux CS2

Dimensions générales et limites des panneaux

- Panneaux pleins en partie linéaire

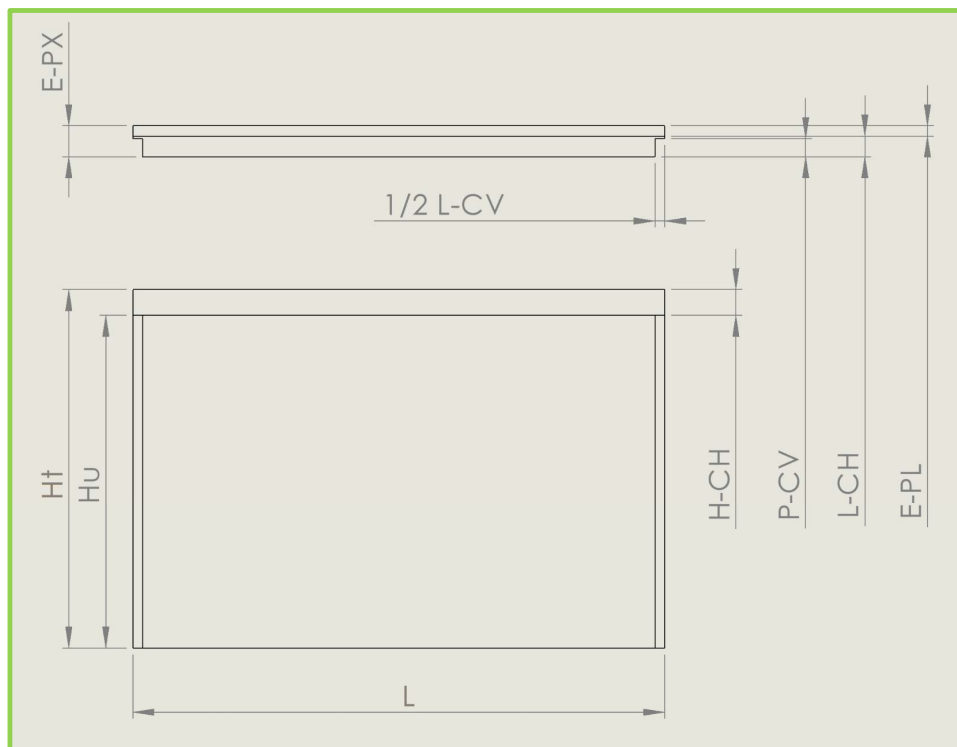


Figure 1B

Dimensions limites pour un panneau plein

		Panneaux CS2 en 24 cm	Panneaux CS2 en 30 cm	Panneaux CS2 Cas général
		<i>Panneau de type CT</i>		
L	Longueur totale Panneaux	40 cm à 800 cm En Configurations A : L = max 800 cm En Configurations B, C, D, E et F : L = max 500 cm		
Ht	Hauteur totale Panneaux	40cm à 380cm		
Hu	Hauteur utile Entre planchers	Max 330 cm		
E-PX	Epaisseur des panneaux	Murs extérieurs : 24 cm Murs intérieurs ou refends : 20 cm à 30 cm	Murs extérieurs : 30 cm Murs intérieurs ou refends : 20 cm à 30 cm	Murs extérieurs : E-PX cm Murs intérieurs ou refends : 20 cm à 30 cm
H-CH	Hauteur Chaînage Horizontal	15 cm à 40 cm (dépend du plancher)		
L-CH	Largeur Chaînage Horizontal	16 cm	18 cm	Si E-PX < 30cm : 2/3*E-PX Si E-PX ≥ 30cm : 3/5*E-PX
E-PL	Epaisseur Planelle intégrée	8 cm	12 cm	(E-PX) – (L-CH)
P-CV	Profondeur Chaînage Vertical	14 cm Cas particulier RDC en 30 cm et étages suivants en 24 cm : P-CV = 20 cm		
L-CV	Largeur Chaînage Vertical	14,5 cm		
½ L-CV	½ Largeur Chaînage Vertical	7 cm Cas spécifique pour panneaux d'angle : Largeur réservation = E-PL +0,5cm ou =P-CV		

- Panneaux avec ouvertures /réservations – généralités de dimensionnement

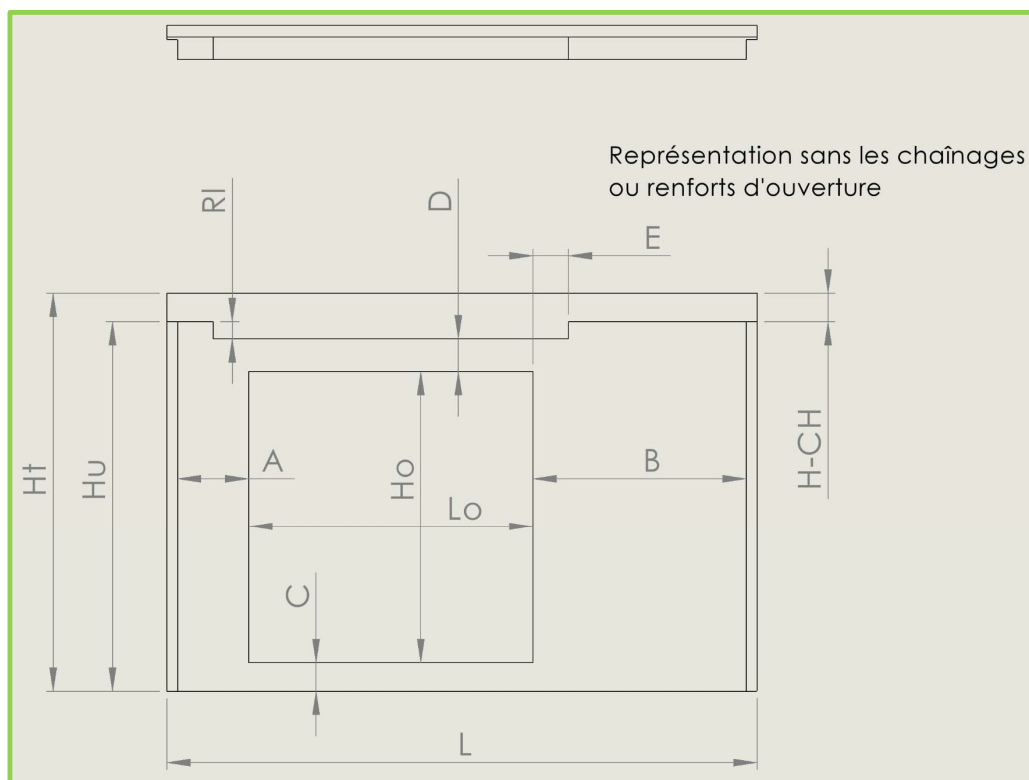


Figure 1C

Dimensions limites pour un panneau avec ouverture

Linteau en retombée de chaînage horizontal

		Panneaux CS2 Cas général
L	Longueur totale Panneaux	Max 500 cm
Ht	Hauteur totale Panneaux	40cm à 380cm
Hu	Hauteur utile Entre planchers	Max 330 cm
Lo	Largeur Ouverture	Si A et B >70cm et A = B ± 30% → Lo = 300cm maximum Si A ou B <70cm ou A ≠ B au-delà de 30% → Lo = 180cm maximum
Ho	Hauteur Ouverture	≤ 270 cm
A, B	Largeur trumeau	Minimum 35 cm ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
C	Allège ou seuil	Minimum 10cm Si nécessaire prévoir découpe sur chantier
D	Linteau en béton de bois	Minimum 22cm ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
E	Appui linteau béton armé	Minimum 24 cm
RI	Retombée de linteau	Définie par bureau d'étude structure
H-CH	Hauteur Chaînage Horizontal	15 cm à 40 cm (dépend du plancher)

- Panneaux avec ouvertures /réservations – généralités de dimensionnement

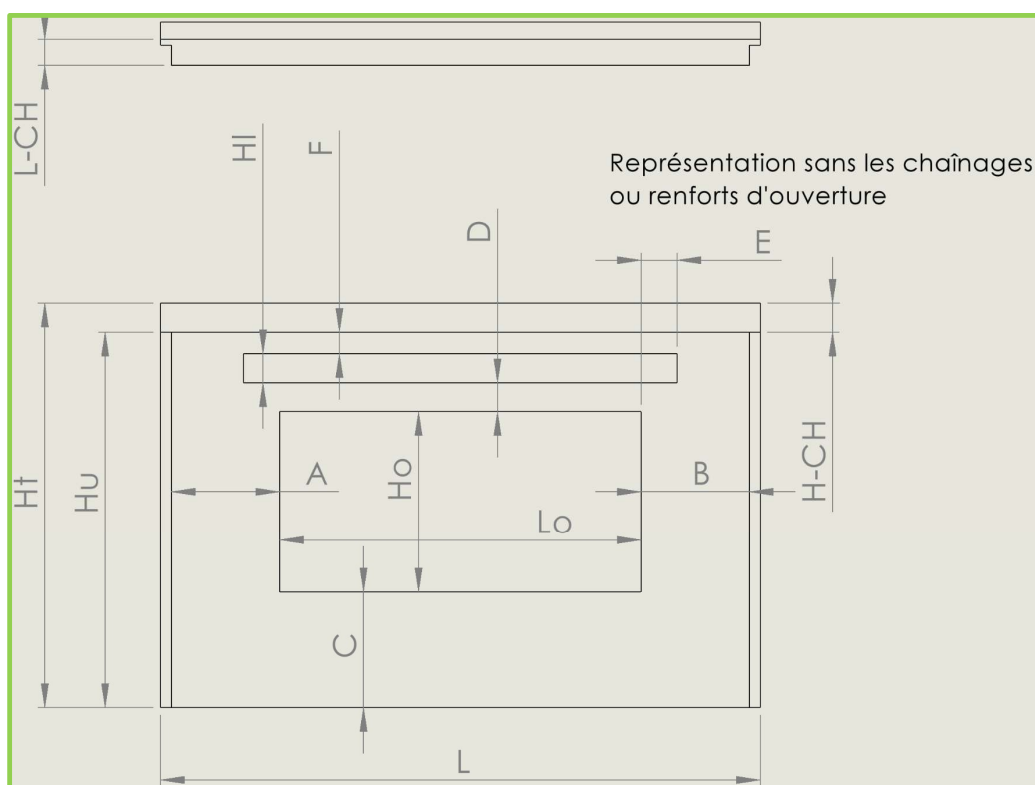


Figure 1D

Dimensions limites
pour un panneau avec
ouverture

Linteau intégré
classique

		Panneaux CS2 Cas général
L	Longueur totale Panneaux	Max 500 cm
Ht	Hauteur totale Panneaux	40cm à 380cm
Hu	Hauteur utile Entre planchers	Max 330 cm
Lo	Largeur Ouverture	Si A et B >70cm et A = B ± 30% → Lo = 300cm maximum Si A ou B <70cm ou A ≠ B au-delà de 30% → Lo = 220cm maximum
Ho	Hauteur Ouverture	
A, B	Largeur trumeau	Minimum 35 cm ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
C	Allège ou seuil	Minimum 10cm Si nécessaire prévoir découpe sur chantier
D	Linteau en béton de bois	Minimum 12cm ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
E	Appui linteau béton armé	Minimum 24 cm
F	Sur-linteau en béton de bois	Minimum 10 cm
HI	Hauteur linteau béton armé	Définie par bureau d'étude structure
H-CH	Hauteur Chaînage Horizontal	15 cm à 40 cm (dépend du plancher)

Intégration relevé planelle de plancher

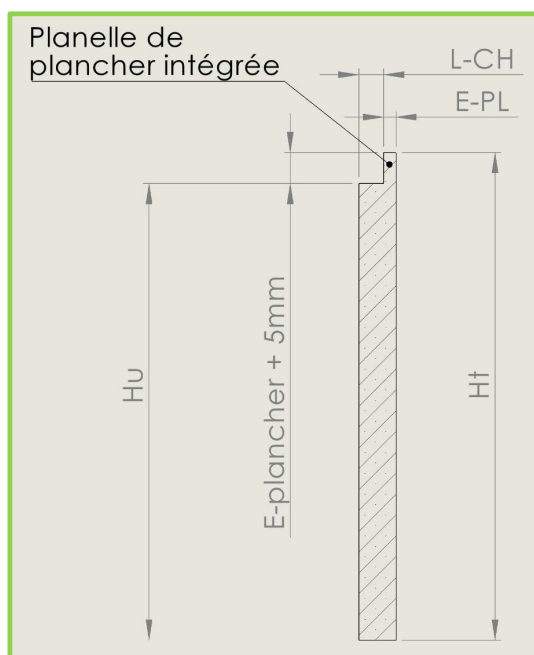


Figure 1E

Intégration de la planelle dans le mur CS2

Ht	Hauteur totale panneau
Hu	Hauteur utile (entre planchers)
L-CH	Longueur Chaînage Horizontal
E-PL	Epaisseur Planelle

Il faut prévoir une hauteur de planelle correspondant à :

Epaisseur du plancher + 5mm.

1.2.2. Principes d'assemblage et dimensions à respecter

Jeux de montage

Les jeux de montage sont définis selon les tolérances de production des panneaux et de la configuration réelle de la construction. Les jeux ci-dessous sont recommandés pour la plupart des cas courants.

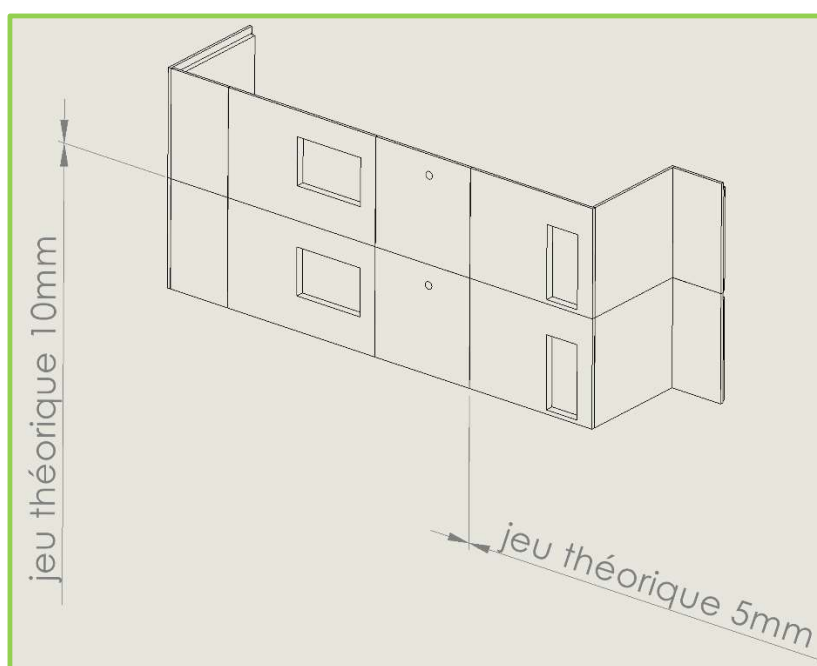


Figure 1F

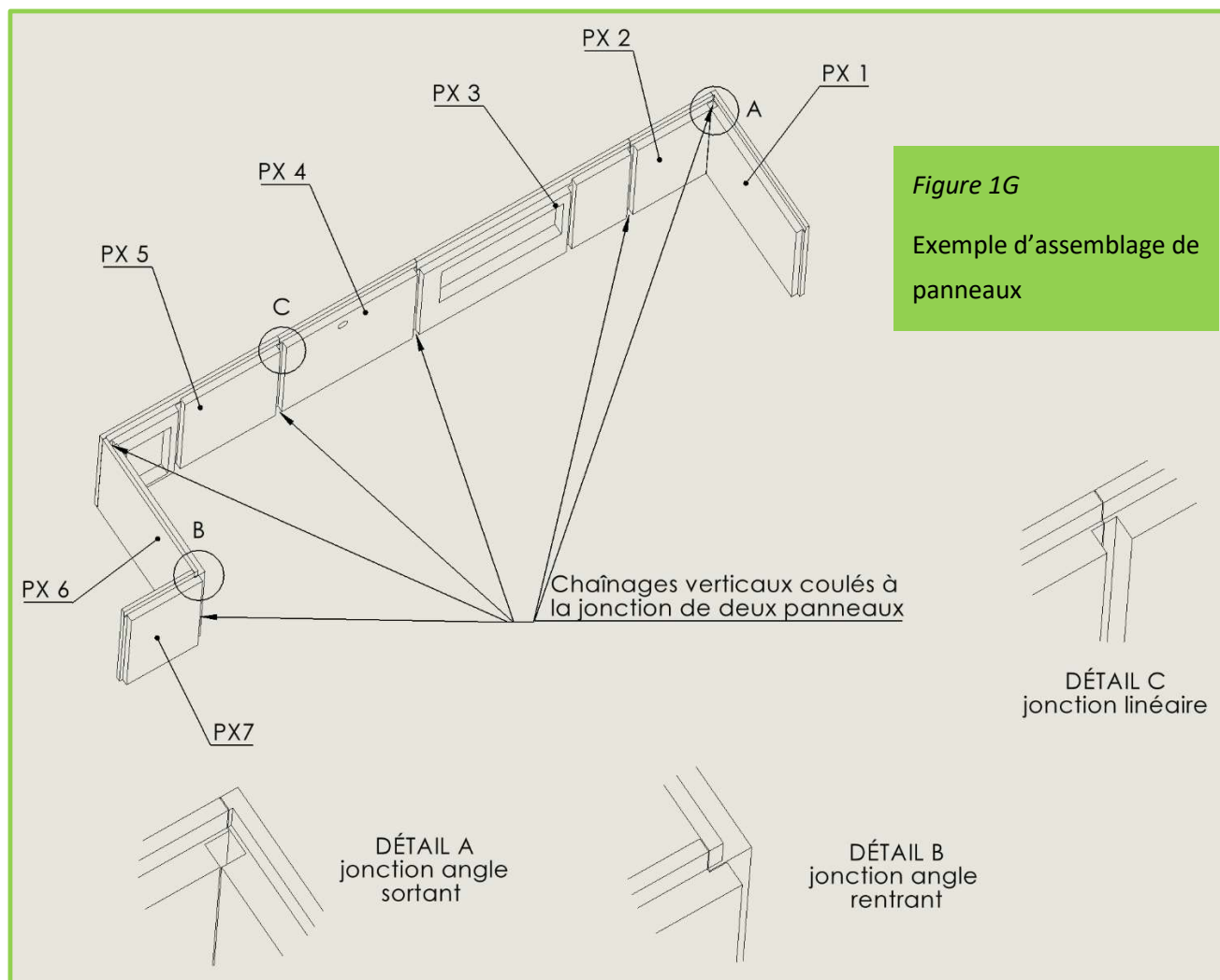
Jeux de pose

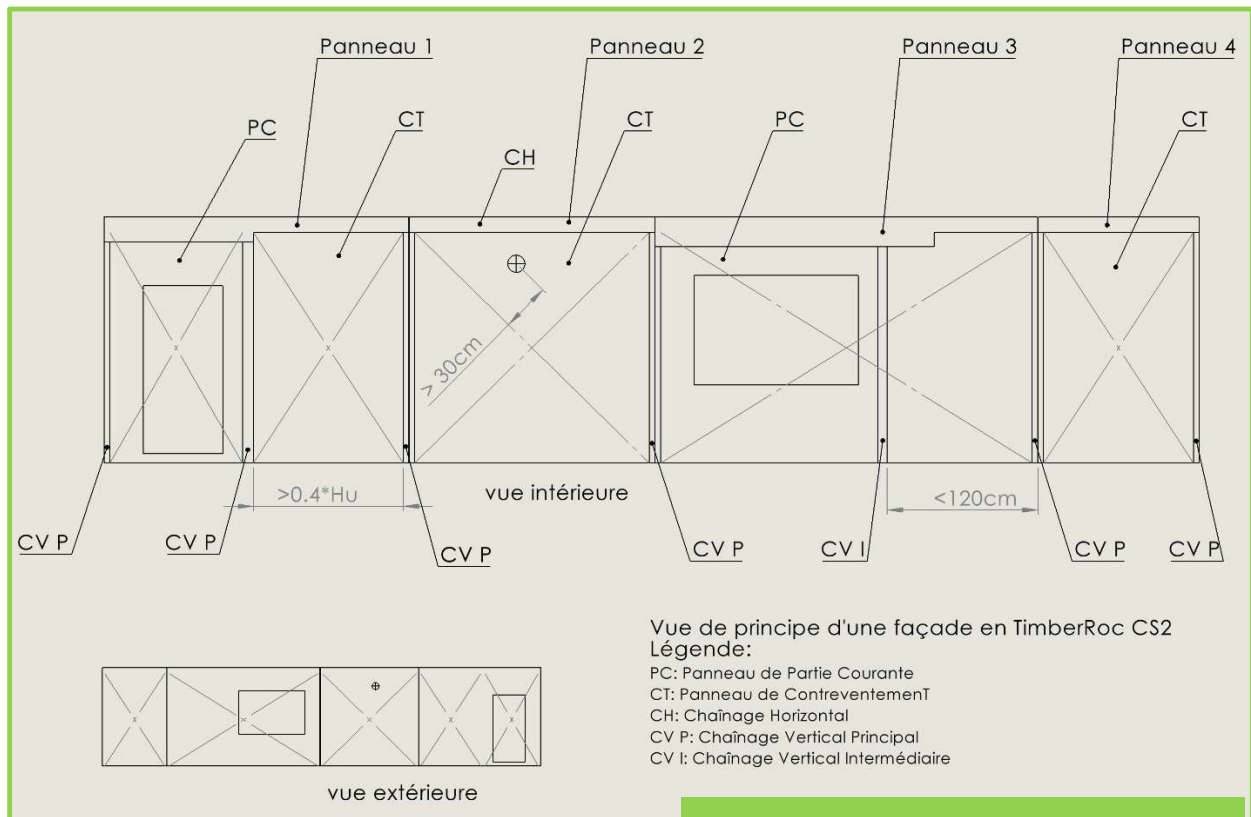
Jeu de pose – liaisons verticales	5 mm
Jeu de pose – liaisons horizontales	10 mm

Principes globaux de conception – calepinage des panneaux d'un bâtiment

Chaque jonction verticale de panneaux accueille un chaînage vertical coulé sur chantier : celui-ci permet non seulement la liaison mécanique et le ceinturage antisismique mais aussi de réaliser l'étanchéité à l'eau, l'air et le feu.

Ci-dessous un exemple d'assemblage sur 7 panneaux en façade :



Principe de conception d'une façade avec panneaux de contreventement et panneaux de partie courante**Figure 1H**

Conception du calepinage : panneaux de Partie Courante et Panneaux de Contreventement

Un panneau de contreventement, dont la prise en compte est à faire en analyse structurale, doit remplir les conditions suivantes :

- Être confiné de part et d'autre par des chaînages verticaux principaux.
- Largeur de panneaux $> (0,4 \cdot H_u)$, entre axes des chaînages de part et d'autre du panneau.
- Ne pas accueillir de réservations à moins de 30 cm de l'axe des diagonales du panneau (bielle de contreventement)

1.2.3. *Principes de calepinage et des liaisons entre panneaux CS2***Calepinage jonctions verticales de panneaux CS2 24 cm – en façade**

Dimensions en cm

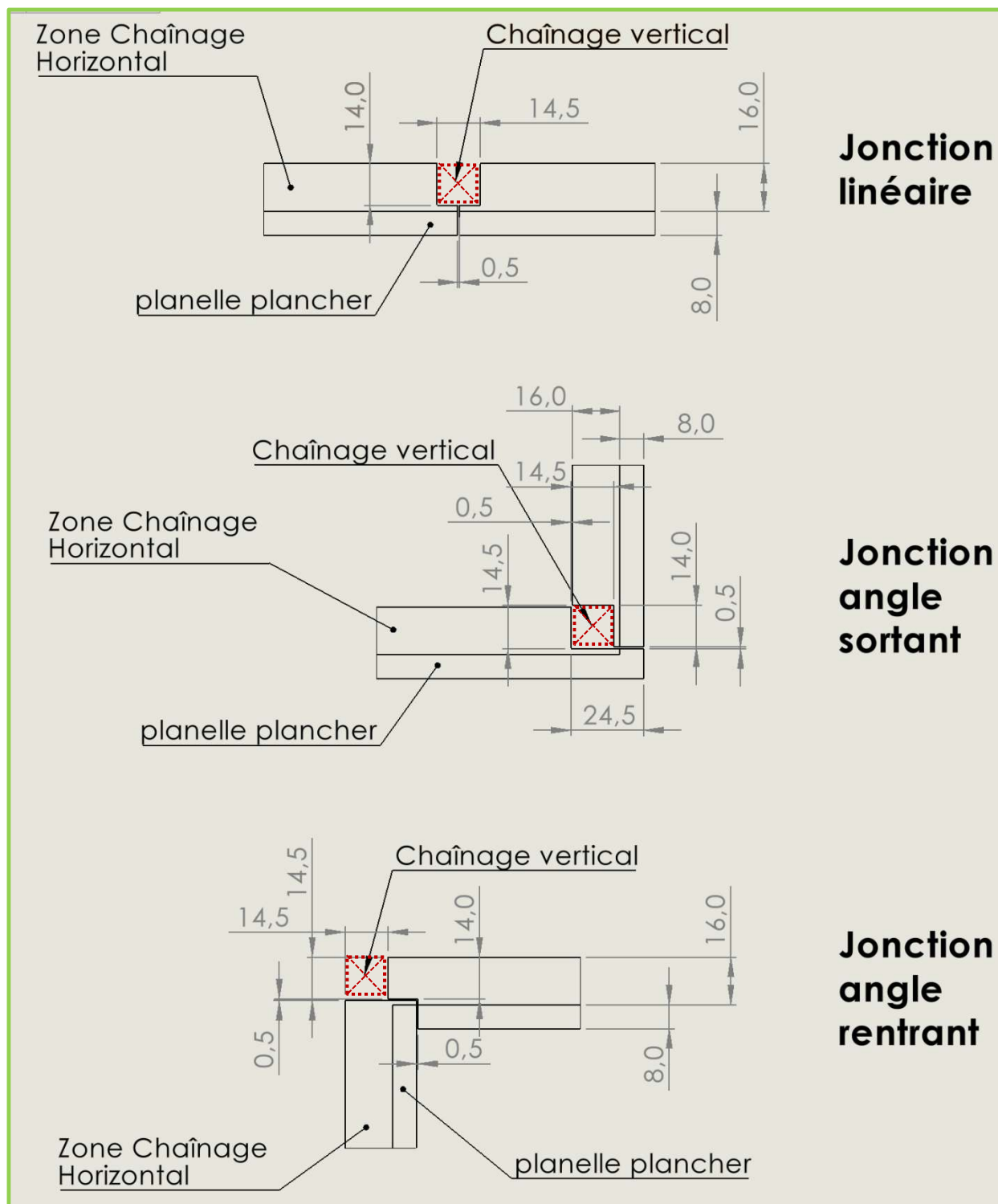
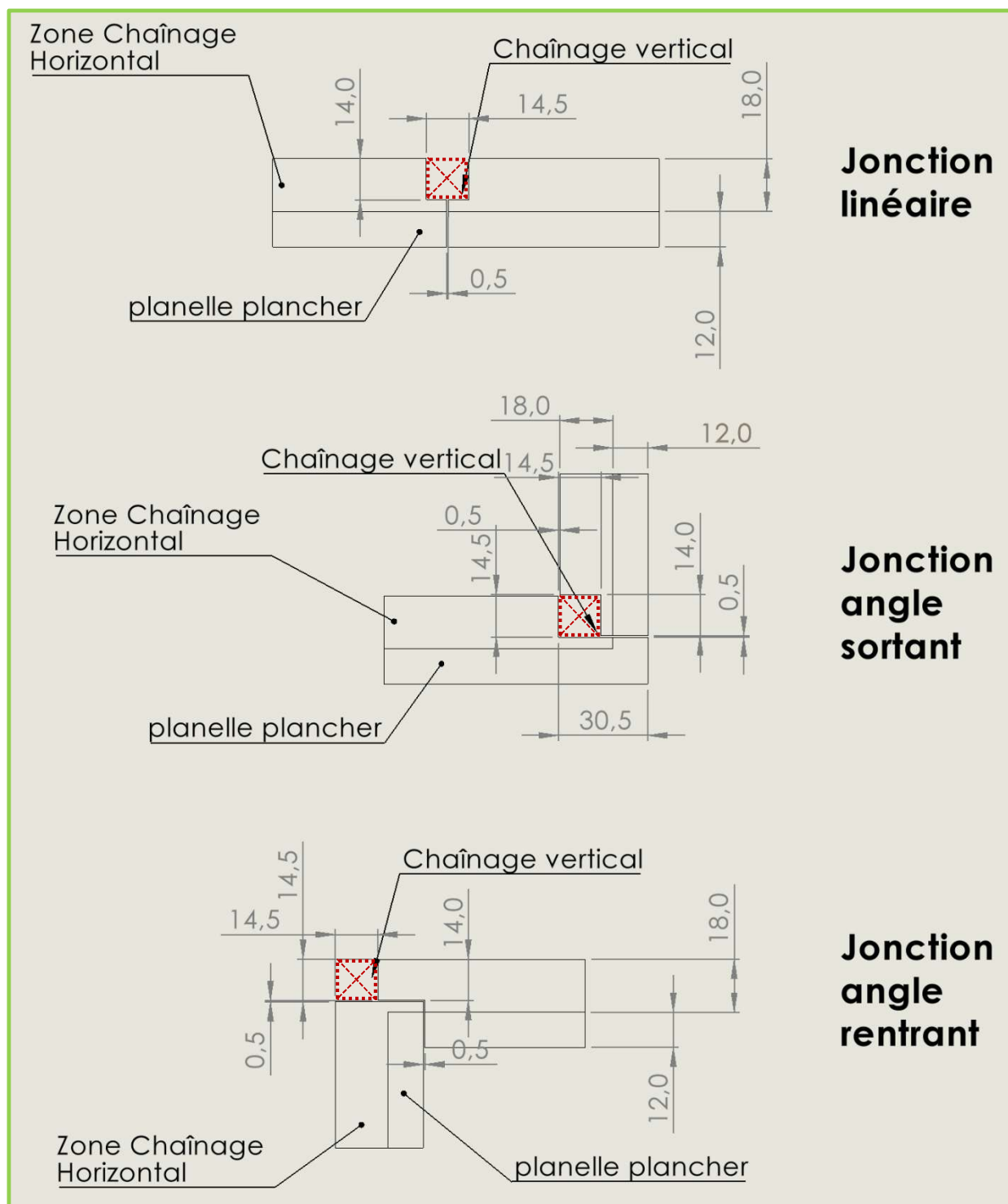


Figure 11

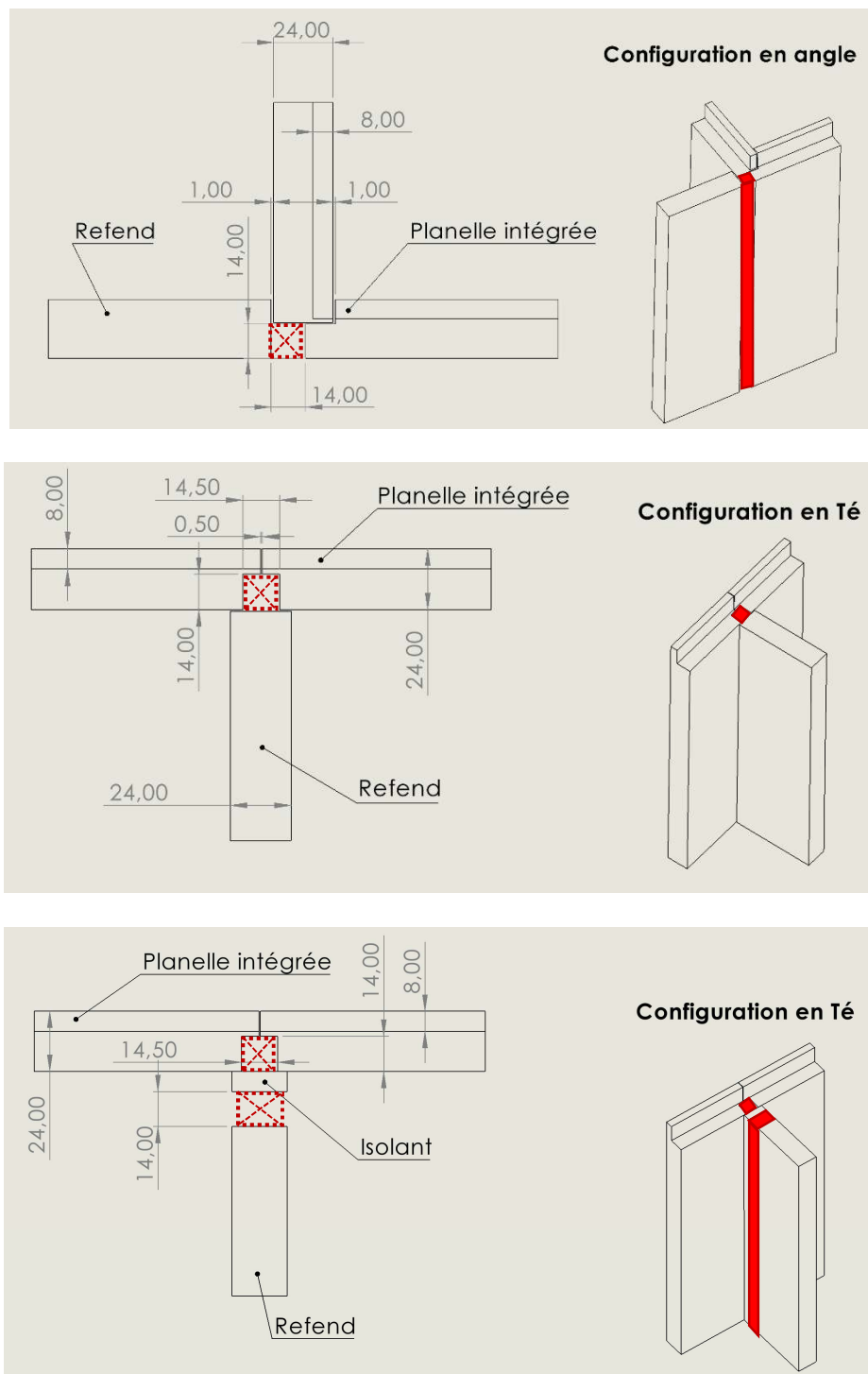
Détails jonctions de panneaux 24cm

A chaque jonction verticale entre panneaux CS2 : il doit y avoir un chaînage principal.

Calepinage jonctions verticales de panneaux CS2 30 cm – en façade*Dimensions en cm***Figure 1J**

Détail jonctions de panneaux 30cm

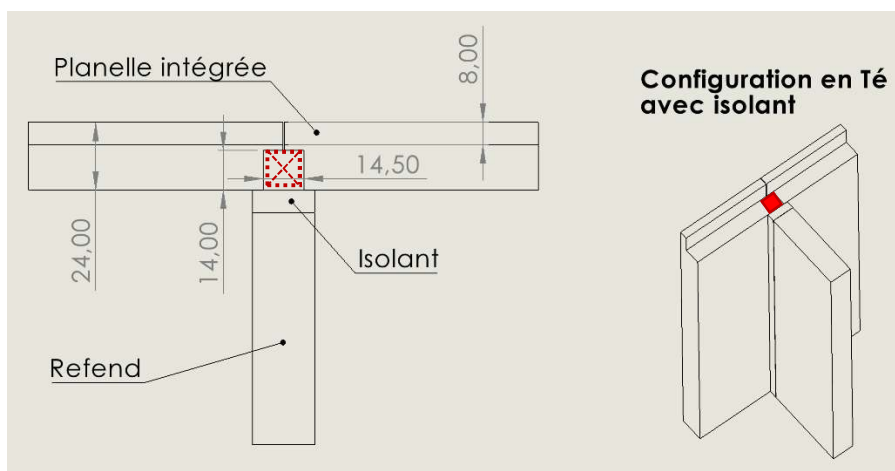
A chaque jonction verticale entre panneaux CS2 : il doit y avoir un chaînage principal.

Calepinage jonctions verticales de panneaux CS2 – en refends contribuant au contreventement*Dimensions en cm***Figure 1K**

Détails jonctions de refends de panneaux 24cm

Murs contribuant au contreventement

A chaque jonction verticale entre panneaux CS2 : il doit y avoir un chaînage principal.

Calepinage jonctions verticales de panneaux CS2 – en refends non contribuant au contreventement*Dimensions en cm**Figure 1L*

Détails jonctions de refends de panneaux 24cm

Murs non contribuant au contreventement

1.2.4. Principes de positionnement des chaînages

Position des chaînages et renforts d'ouvertures sur des panneaux CS2

- Généralités

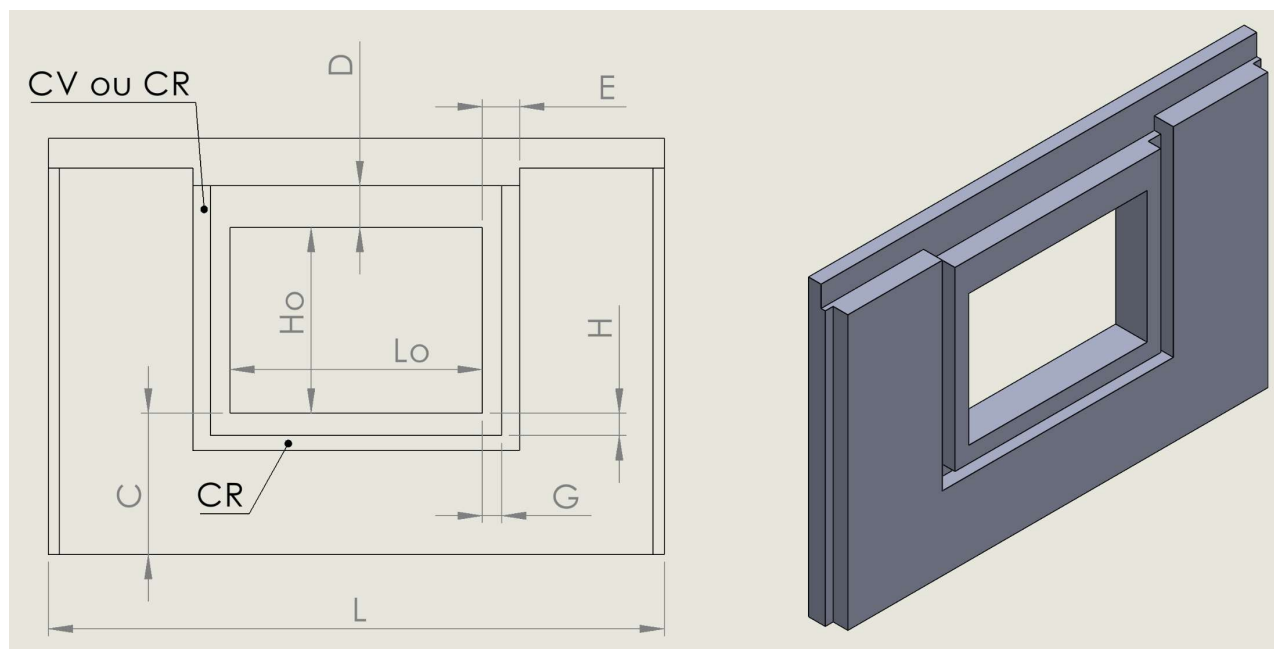


Figure 1M

Généralités du positionnement des renforts ou chaînages d'ouvertures.

		Panneaux CS2 Cas général
C	Allège ou seuil	Minimum 10cm Si nécessaire prévoir découpe sur chantier. Et/ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
D	Linteau en béton de bois	Minimum 22cm ou adopter dispositions spécifiques pour manutention et levage
E	Appui linteau béton armé	Minimum 24 cm
G	Distance tableau – Chaînage/renfort en vertical	Minimum 12 cm Conseillé 15 cm Maximum 35 cm
H	Distance tableau – Chaînage/renfort en horizontal	Minimum 15 cm

Les dispositions à adopter pour les encadrements de baies / renforts d'ouvertures sont précisées dans le dossier technique en partie 4.6 Principes de conception et dispositions parasismiques.

- En configuration A : (partie 4.6 du dossier technique)

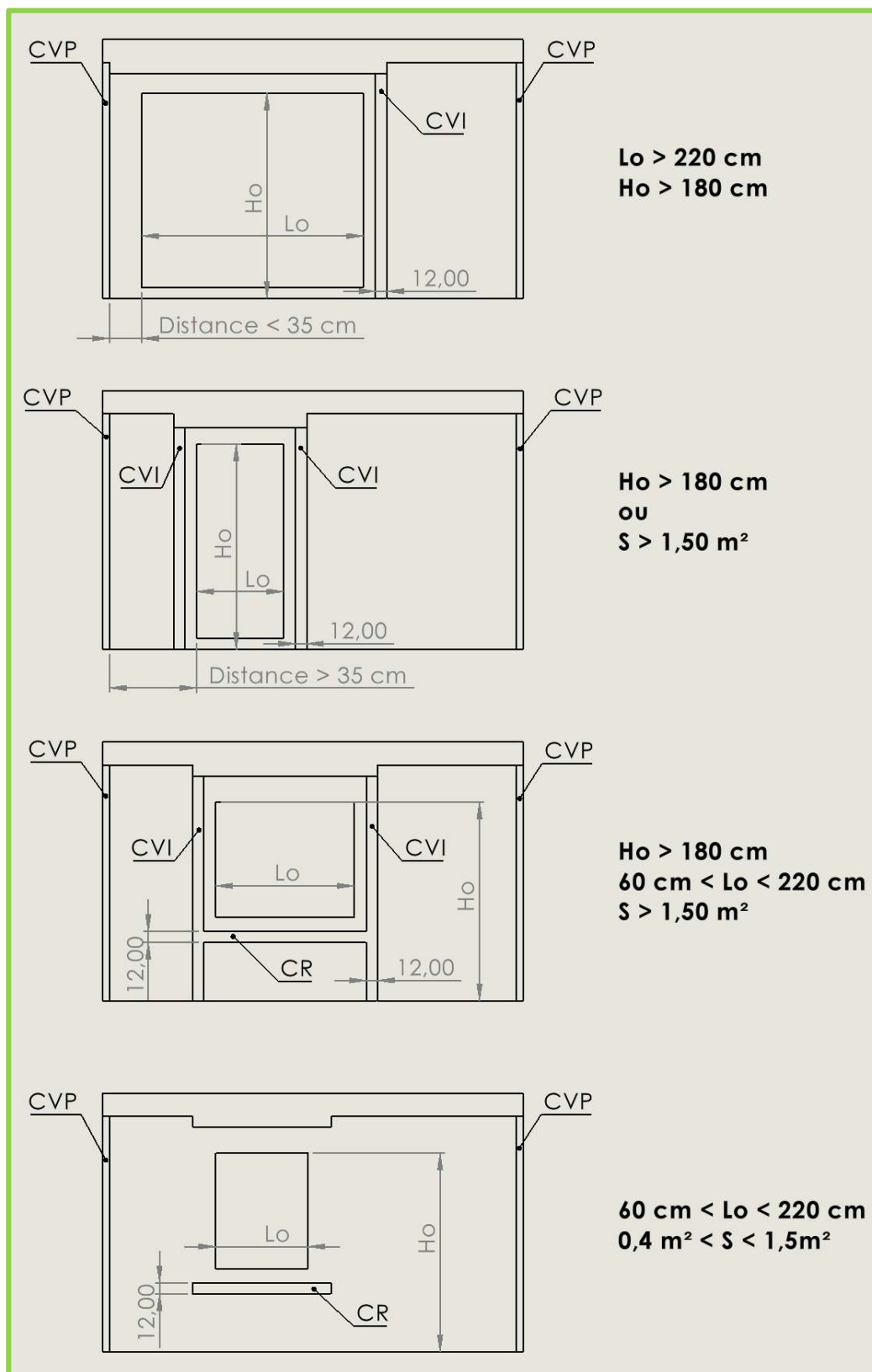


Figure 1N

Dispositions des
chaînages en
configuration A

- En configuration B et C (partie 4.3 du dossier technique)

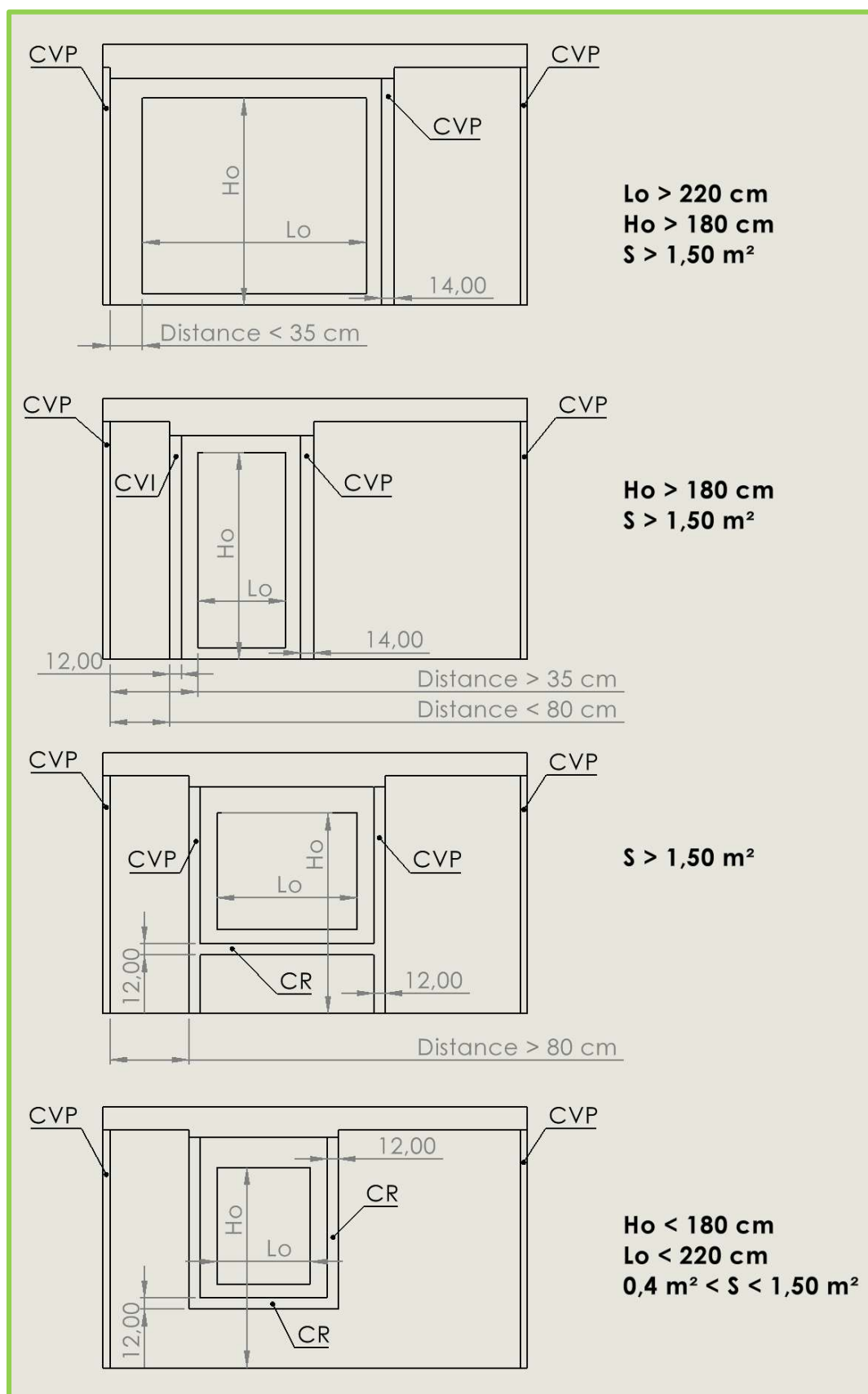


Figure 10

Dispositions des
chaînages en
configuration B et C

- En configuration D, E et F (partie 4.3 du dossier technique)

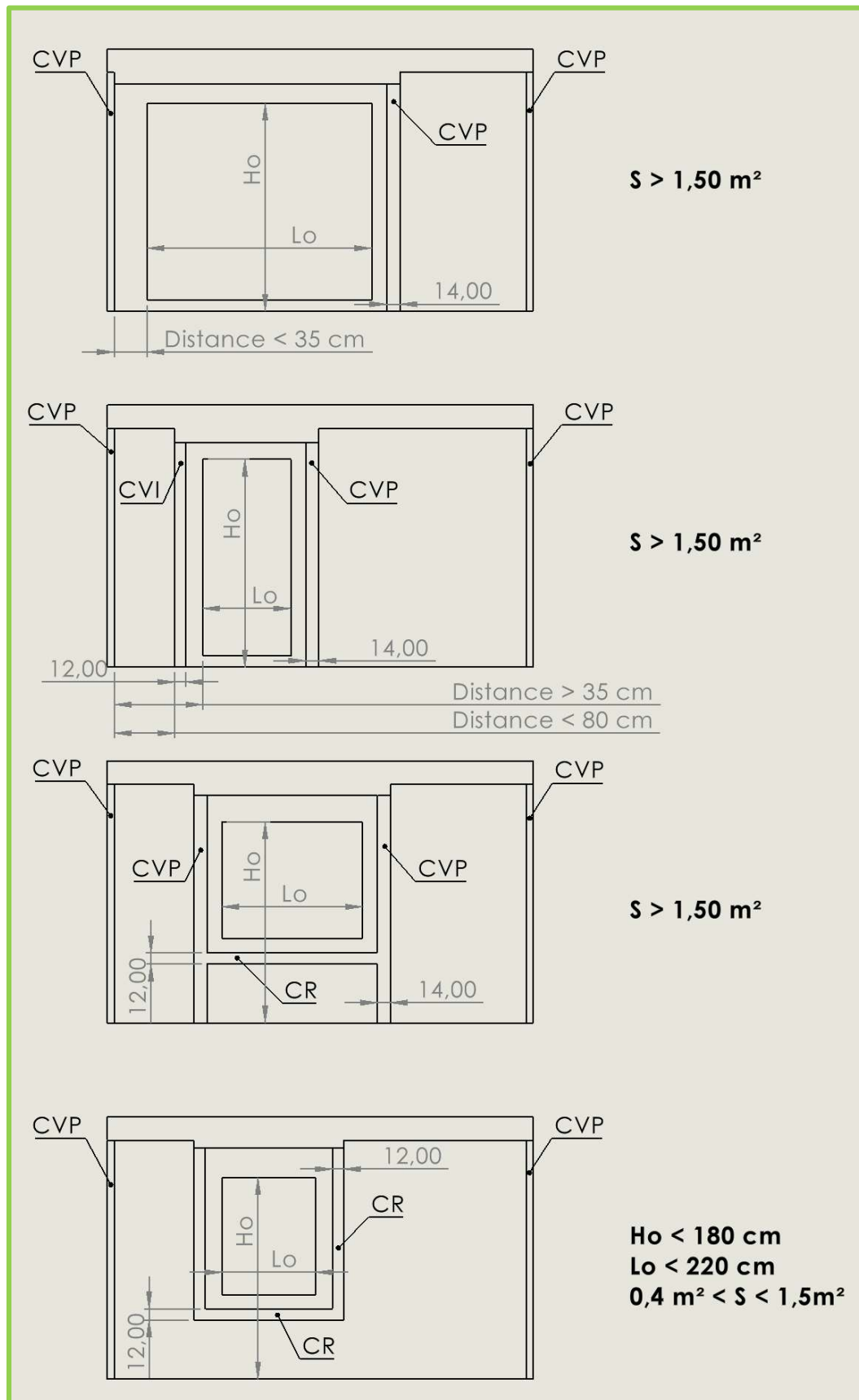


Figure 1P

Dispositions des chaînages en configuration D, E et F

1.2.5. Principes pour la réalisation des ouvertures

Réalisation des grandes ouvertures par assemblages de panneaux

Il convient de réaliser une conception en panneau poutre + panneaux trumeaux lorsque :

- La hauteur entre partie haute du tableau de la baie et la partie basse du chaînage/linteau est inférieure à 22cm (Hauteur Linteau BB),
- La largeur de baie L_0 est supérieure à 300 cm,
- La dimension de largeur minimum de trumeau sur le bord d'une ouverture = 35cm plein n'est pas respectée,
- Déséquilibre de la masse répartie de chaque côté de l'ouverture ($A \neq B$ au-delà de 30% - voir figure 1H)

Variante 1

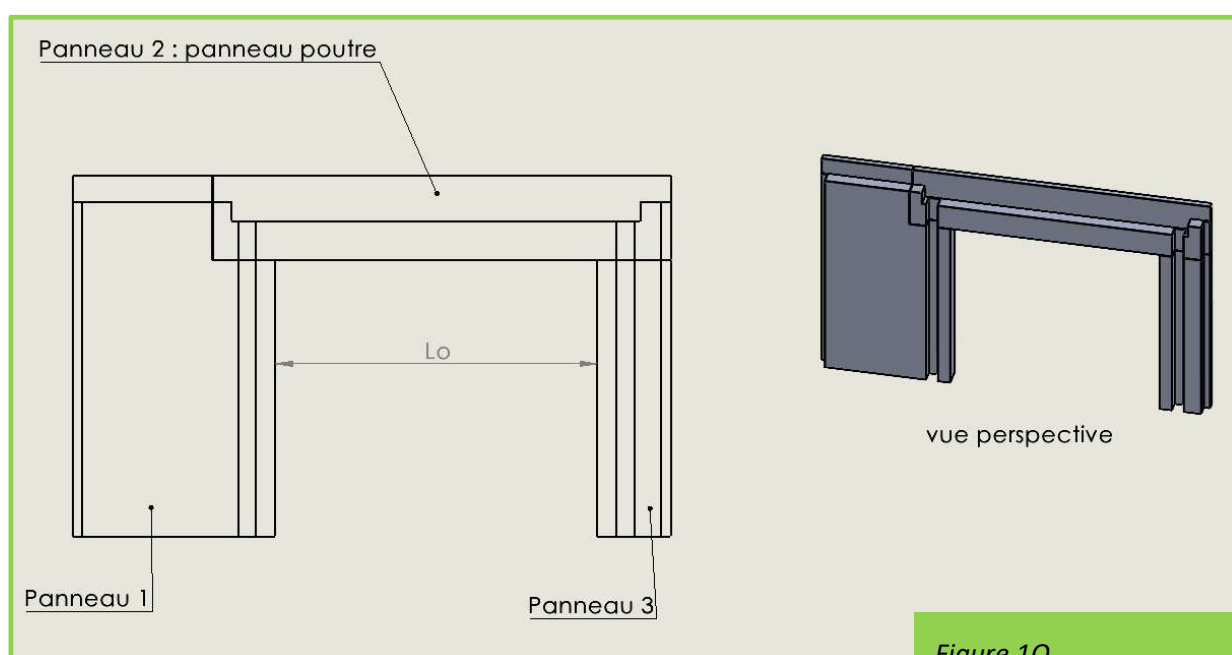
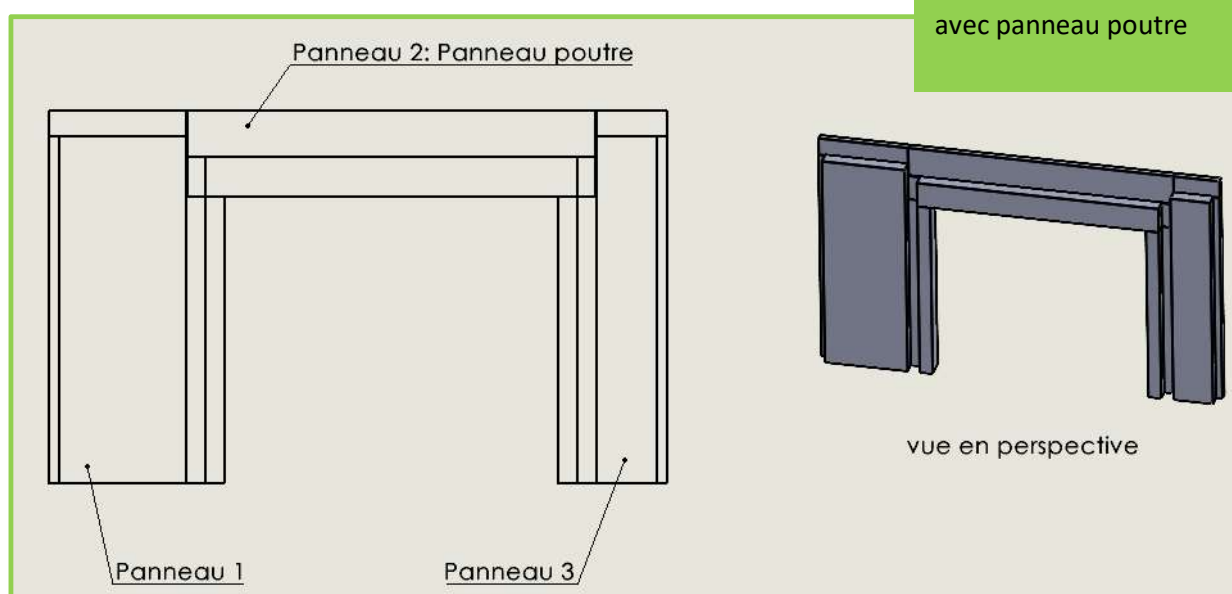
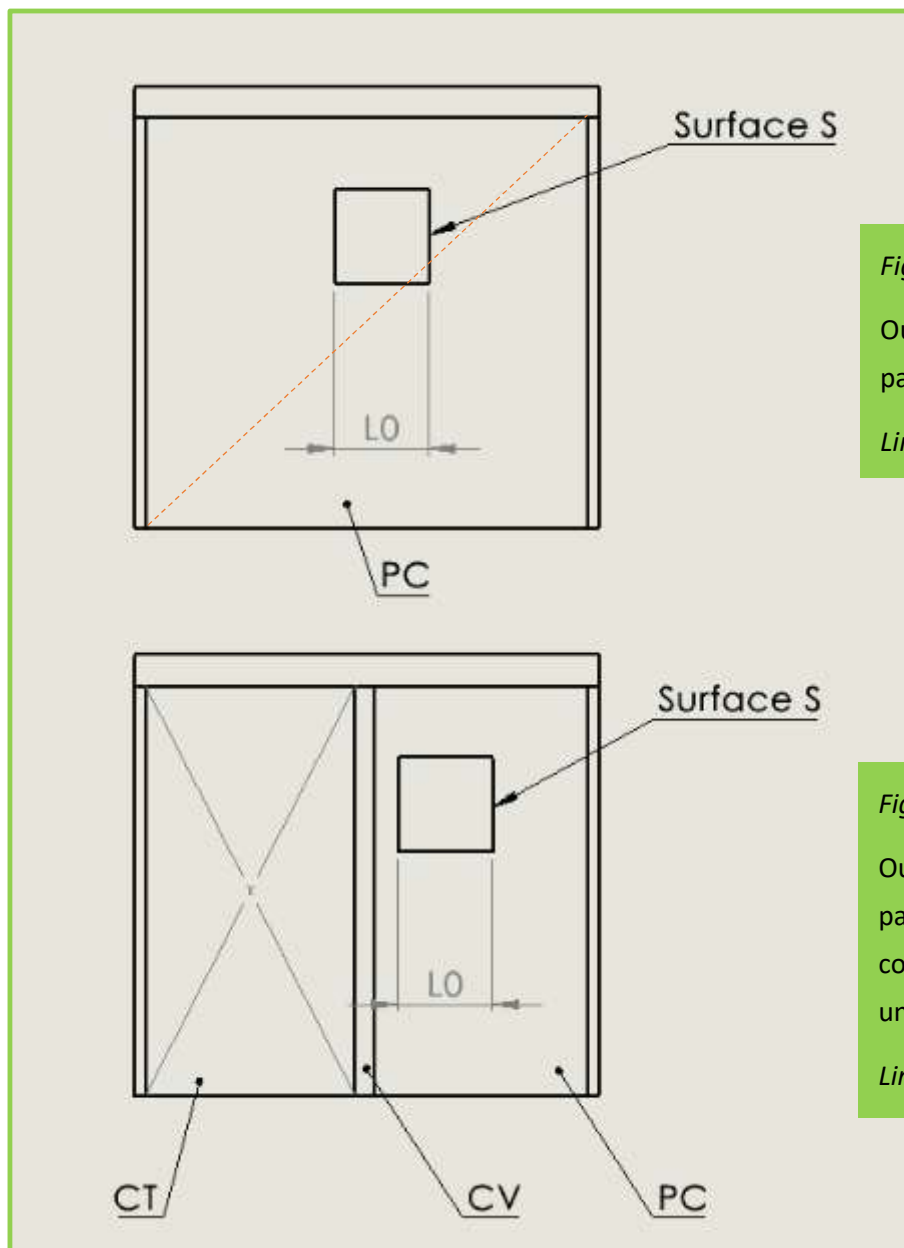


Figure 1Q

Conception des ouvertures avec panneau poutre

Variante 2



Ouvertures de petites dimensions $L_0 < 60\text{cm}$ ou $S < 0,4\text{ m}^2$ *Figure 1R*

Ouverture aménagée dans un panneau en partie courante.

Linéau à dimensionner

Figure 1S

Ouverture aménagée dans un panneau créant un pan de contreventement en ajoutant un chaînage vertical.

Linéau à dimensionner

1.2.6. *Détails de points de conception spécifiques*

Particularité de conception pour un bâtiment en panneaux de 24 cm et RDC en 30 cm

Pour rappel, dans un projet de bâtiment en R+3, le premier niveau du RDC doit être en panneaux d'épaisseur minimum 30cm s'il est en panneaux de béton de bois CS2.

Pour assurer la continuité des chaînages verticaux, la section des chaînages des panneaux du RDC doivent présenter une section plus importante avec une profondeur réhaussée à 20cm.

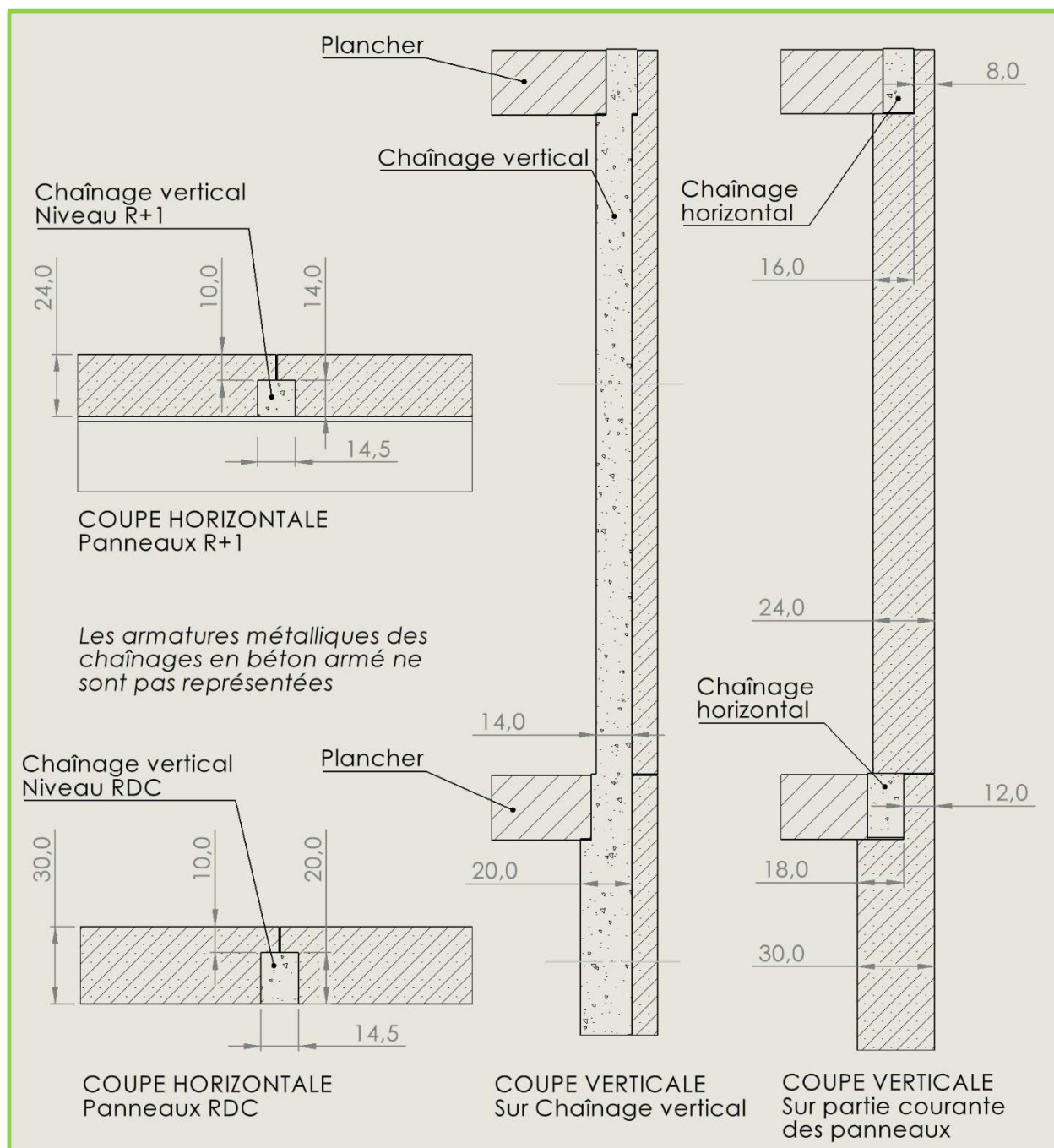


Figure 1T

Principe : Panneau RDC en 30 cm avec niveau étage en 24 cm

Intégration de distribution d'électricité

Les panneaux CS2 peuvent intégrer des gaines électriques et des boîtes électriques. Pour la réalisation des plans de fabrications, les plans de positionnement des inserts électriques doivent être fournis par l'électricien durant la phase d'étude. Les inserts électriques devront être positionnés et cotés sur les plans par rapport aux murs/dalles bruts (murs béton, dessus de dalles brutes béton, etc.).

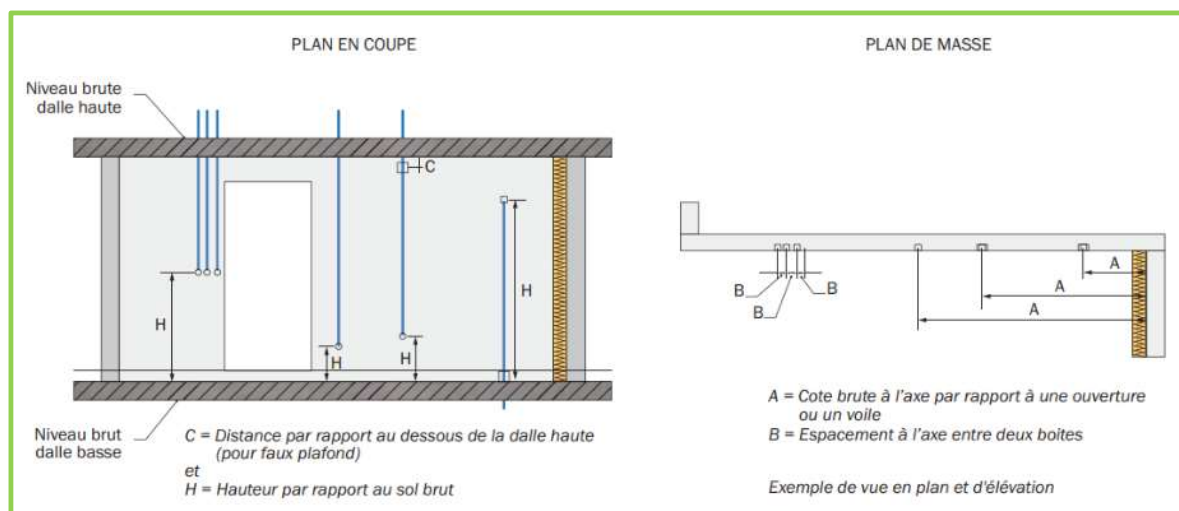


Figure 1U

Intégration électrique

La tolérance sur positionnement des boîtiers doit être conforme à la norme NF EN 14992 A ou B suivant les fournisseurs.

Pour la réception des inserts électriques : L'utilisateur doit faire réceptionner par l'électricien, le positionnement et le nombre des inserts électriques incorporés dans les panneaux avant coulages des chaînages en béton armé. Les boîtiers électriques doivent être compatibles et adaptés au processus de production des panneaux en béton de bois.

Le bord des boîtiers électriques ne doit pas être disposé à moins de 4 cm d'une surface de coffrage. Les gaines électriques ne doivent pas traverser des chaînages en béton armé.

1.2.7. Positionnement des ancrages de levage – exemples

Rappel sur les ancrages destinés aux panneaux CS2

Des ancrages de levage sont disposés à mi-épaisseur du panneau lors de la phase de coulage du béton de bois, en dessous du niveau de l'arase haute du panneau.

Ces ancrages sont fournis par CCB GreenTech ou fabriqués par les partenaires licenciés en conformité avec le dossier technique. Le nombre d'ancrages de levage est déterminé par :

- Le type d'ancrage utilisé,
- la dimension et le poids des panneaux.

Après assemblage des panneaux sur chantier ces dispositifs sont masqués et ne sont plus accessibles.

Caractéristiques des ancrages à utiliser

Les ancrages sont forgés et soudés en acier doux de nuance Re 235 de diamètre 12 mm. Il existe différents types d'ancrage en fonction de la géométrie du panneau préfabriqué.

La largeur et la position de la partie saillante des ancrages sont telles que le crochet de l'élingue ne porte pas sur les parois en tête du panneau.

Les géométries et les résistances caractéristiques des différents ancrages sont fournies en Annexe n°2.

Principe de positionnement des ancrages - Exemples

Exemple 1 :

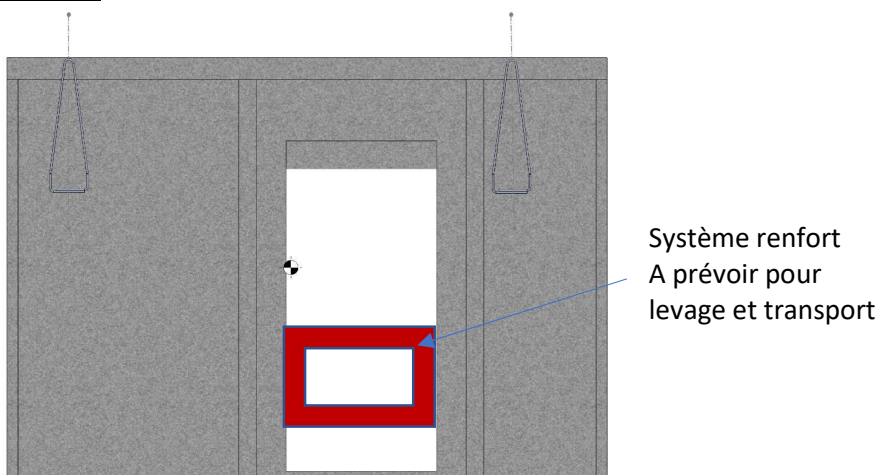


Figure 1V

Epaisseur : 24 cm

Poids : 1.755 kg

2 ancrages L25 GH

Exemple 2 :

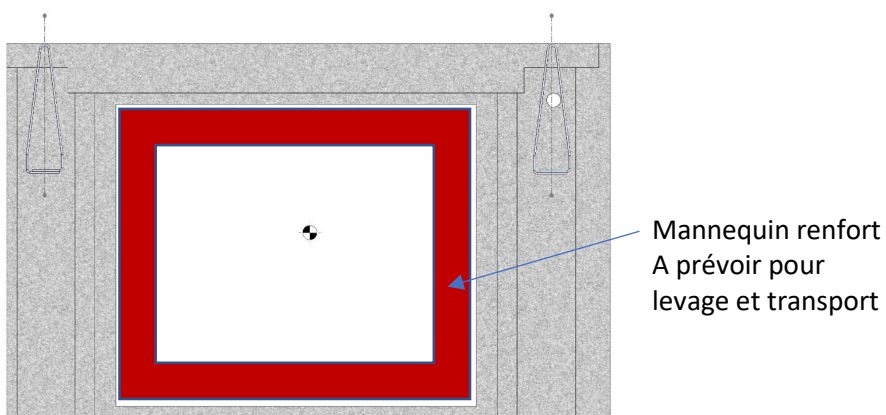
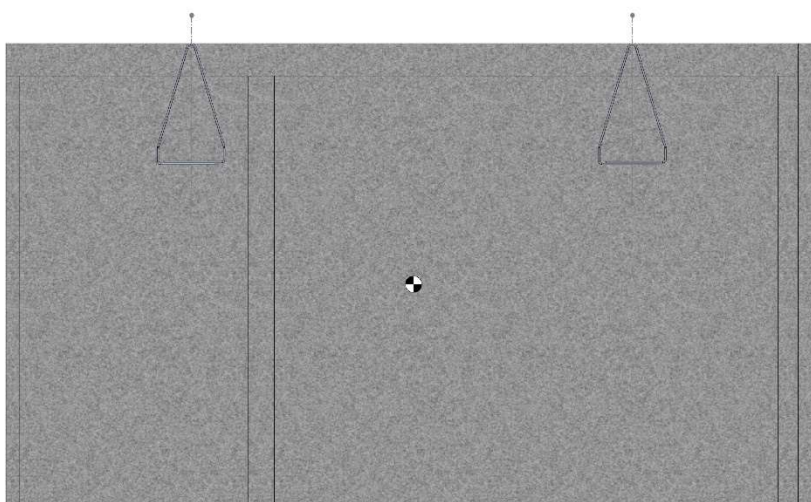


Figure 1W

Epaisseur : 30 cm

Poids : 880 kg

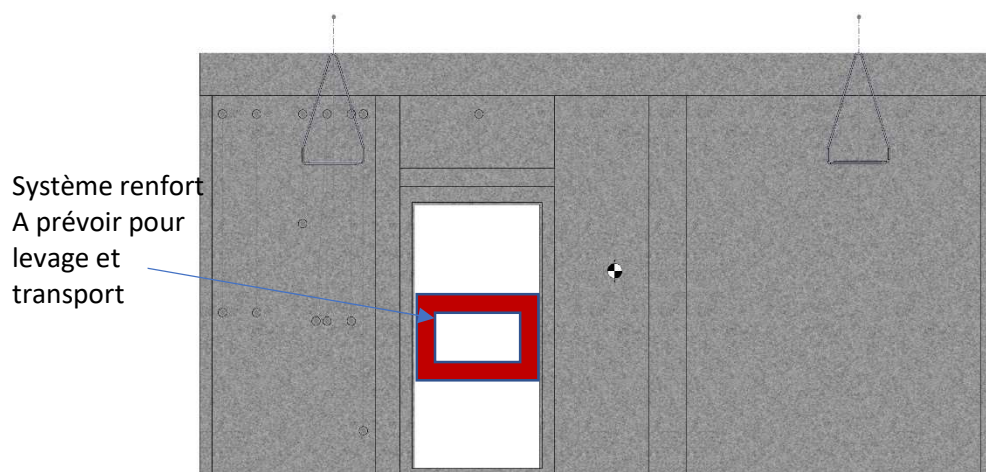
2 ancrages L25 GH

Exemple 3 :*Figure 1X*

Epaisseur : 24 cm

Poids : 3. 860 kg

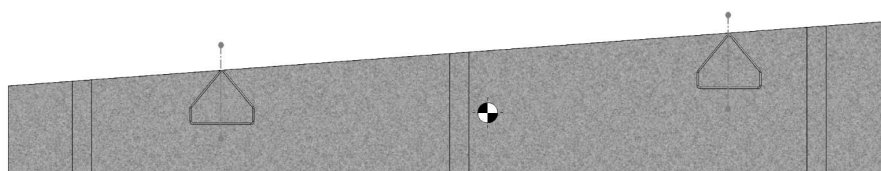
2 ancrages L50 GH

Exemple 4 :*Figure 1Y*

Epaisseur : 24 cm

Poids : 3.770 kg

2 ancrages L50 GH

Exemple 5 :*Figure 1Z*

Epaisseur : 30 cm

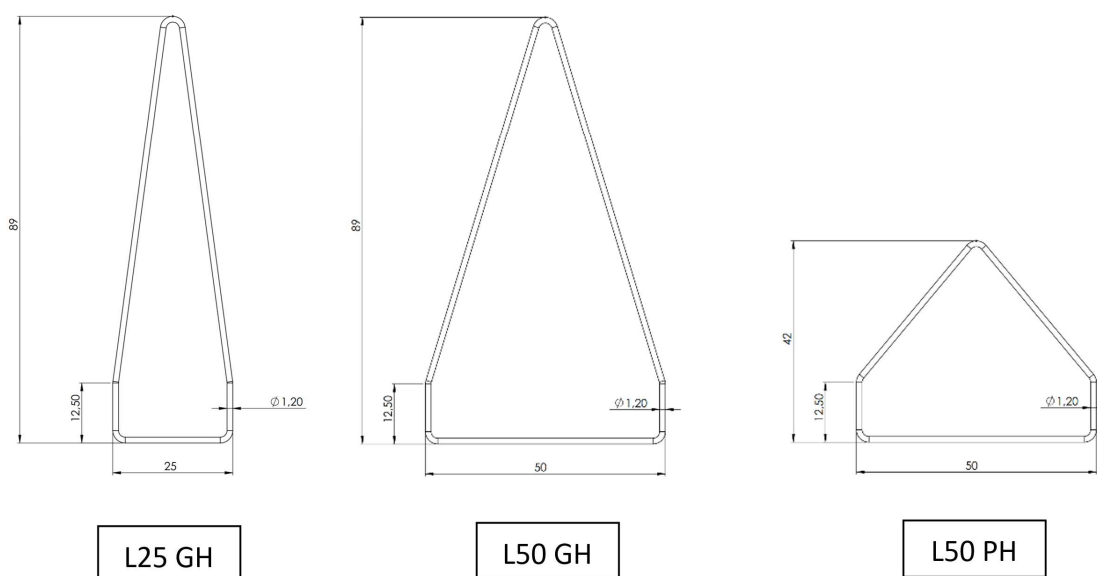
Poids : 1.590 kg

2 ancrages L50 PH

Note : Si l'équilibrage du panneau n'est pas assuré et que la mise en place des ancrages de levage n'est pas possible en assurant une répartition des efforts équilibrés, il convient de décomposer avec panneaux poutres et panneaux trumeaux.

2. Annexe n°2 : Ancrages de levage des panneaux TimberRoc – Charges Maximales Utilisables - CMU

Détail de la géométrie des différents types d'ancrage



Ces ancres ont été développés spécifiquement pour une utilisation avec des panneaux préfabriqués en béton de bois TimberRoc – ils ne sont pas aptes pour d'autres usages.

LXX GH ou PH: (XX est la largeur en cm de la boucle, PH : Petite Hauteur, GH : Grande Hauteur).

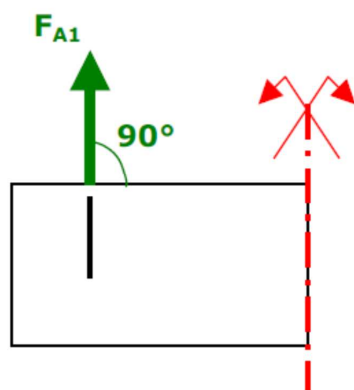
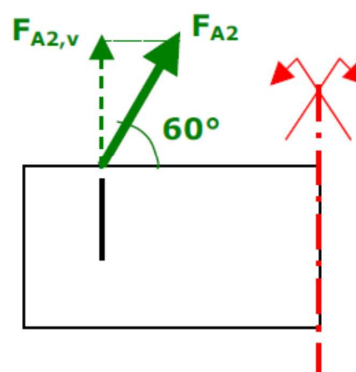
- L25 GH : Utilisable pour le levage de panneaux de poids modeste ou avec des ouvertures et / ou des trumeaux étroits.
- L50 GH : Utilisable pour le levage des panneaux les plus lourds.
- L50 PH : Utilisable pour le levage de panneaux où la hauteur d'intégration est faible (au-dessus d'une baie ou acrotères par exemple)

Valeurs des CMU obtenues par les essais

Référence d'ancrage	type	Diamètre armature de l'ancrage	Epaisseur nominale de paroi [mm]	Enrobages nominaux [mm]	Levage en position verticale CMU [kN]
L01 25 GH		12	≥ 160	≥ 75	10
L01 25 GH		12	≥ 240	≥ 110	12
L01 50 PH		12	≥ 240	≥ 110	10
L01 50 GH		12	≥ 240	≥ 110	20
L01 50 GH		12	≥ 160	≥ 75	15

Ces valeurs de CMU sont valables pour un levage vertical en configuration A, tel que défini dans le protocole de la CCFAT « Protocole d'essai pour les éléments de levage incorporés dans les MCI/MCII ».

- Configuration A1 – angle de 90° ;
- Configuration A2 – angle de 60° .

**Configuration A1****Configuration A2**

Les caractéristiques du béton de bois pour atteindre ces résultats ont été obtenues :

- Avec une formulation suivant l'abaque « Procédure 1 : Licence- CCB / P1 »,
- Au 5^{ème} jour de séchage naturel à plat sur les plaques métalliques de coffrage posées à même le sol,
- Retrait des joues de coffrage dans les 3 heures après coulage,
- Aucune cure du béton de bois – aucun étuvage.

Les conditions climatiques lors de la période des essais, offraient une température extérieure moyenne d'environ 10°C et un temps relativement sec, la température ambiante de l'atelier était autour de 12 à 15°C .

Les propriétés du béton de bois à 5 jours, lors du levage, se caractérisaient par :

- Une résistance à la compression supérieure à $1,5\text{ Mpa}$ – dans le plan des panneaux
- La densité moyenne au levage à 5 jour de l'ordre de : 900 à 950kg/m^3

Dans le cas d'un séchage accéléré par étuvage des panneaux, le fabricant doit veiller à retrouver les caractéristiques de résistance affichées ci-dessus.

Au vu des observations lors des essais, nous préconisons une partie pleine de béton de bois de part et d'autre de l'ancrage de minimum 5 cm.

Quelques notions chiffrées :

Avec une masse volumique majorée à 1000kg/m³ :

- avec 2 ancrages L50GH : levage vertical d'un panneau plein de 24cm et de hauteur 330cm avec une longueur de : 500cm
- avec 2 ancrages L50GH : levage vertical d'un panneau plein de 16cm et de hauteur 330cm avec une longueur de : 560cm
- avec 2 ancrages L25GH : levage vertical d'un panneau plein de 24cm et de hauteur 330cm avec une longueur de : 300cm

A noter également, que lorsqu'on dépasse la CMU lors des essais à jeune âge, un glissement progressif de l'ancrage est constaté, ce n'est pas une rupture fragile.

3. Annexe n°3 : Exemple de calcul de dimensionnement

D. Description du bâtiment et hypothèses de calcul

Un bâtiment de logement est schématisé sur la Figure 1, les principales hypothèses sont indiquées dans le Tableau 1.

Nombre d'étages (hors RdC)		2	
P	portée des planchers	5,8	m
H	hauteur libre d'étage	2,6	m
B	profondeur des balcons	0	m
T	largeur du trumeau	2,0	m
O1+O2	largeur des ouvertures	1,8	m

Tableau 1: géométrie du bâtiment



Figure 1: schéma de principe

E. Descente de charges

Les charges permanentes et les charges d'exploitation sont données dans les tableaux 2 et 3. La descente de charge par niveau, puis sur les voiles 1 et 2 est donnée dans le Tableau 4.

planchers	murs
ep = 0,2 m	ep = 0,24 m
g = 25 kN/m ³	g = 8 kN/m ³

Tableau 2: charges permanentes

Toiture terrasse	Etage courant : plancher,	balcon
g' = 0,5 kN/m ²	g' = 2 kN/m ²	g' = 0,5 kN/m ²
q = 2 kN/m ²	q = 1,5 kN/m ²	q = 3,5 kN/m ²

Tableau 3: charges d'exploitation

toiture terrasse	G	14,5
	G'	1,45
	Q	5,8
planchers	G	14,5
	G'	5,8
	Q	4,35
balcons	G	0
	G'	0
	Q	0
murs	G	5,4
total	G	67
	Q	15

Combinaison ELU : 1,35 G + 1,5 Q	
MUR 1	163
MUR 2	113

Tableau 4: descente de charges [kN/ml]

F. Dimensionnement vis-à-vis des charges verticales :

C-1/ Avec calcul détaillé

L'effort vertical maximal que peut reprendre un mur CS2 s'exprime par la relation :

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

Avec :

- l : longueur du mur,
- t : épaisseur du mur [mm],
- f_d : valeur de calcul de la résistance à la compression du mur [MPa],
- Φ : coefficient de réduction pour tenir compte de l'élancement du mur et de l'excentricité des charges verticales appliquées. La valeur à retenir dans le calcul est la plus petite des deux valeurs Φ_i et Φ_m :

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

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

Dans l'expression de l'excentricité : $e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0,05 t$, la composante liée à l'excentricité des charges (les deux premiers termes) est déterminée par la géométrie des panneaux qui est détaillée dans l'annexe 1 : « Conception des Panneaux CS2 et règles techniques de Dessin » (tableau [X]). Pour des panneaux d'épaisseur 24 cm, le chaînage horizontal a une profondeur de 16 cm.

$$e_{char} = \frac{24 - 16}{2} = 4 \text{ cm}$$

Les murs étant liés en tête et en pied à un plancher en béton armé portant dans un seul sens et le plancher est en appui sur les 2/3 de l'épaisseur du mur, la hauteur effective est prise égale à 0,75 fois la hauteur libre (EC6 § 5.5.1.2 Hauteur effective des murs de maçonnerie)

$$e_{init} = \frac{h_{ef}}{450} = \frac{260 \times 0,75}{450} = 0,43 \text{ cm}$$

$$e_i = e_{charg} + e_{init} = 4,43 \text{ cm}$$

On vérifie bien que :

$$e_i = 4,43 \text{ cm} \geq 0,05 \times t = 1,2 \text{ cm}$$

- Coefficient de réduction en tête et/ou en pied :

$$\phi_i = 0,8 \times \left(1 - 2 \frac{e_i}{t}\right) = 0,8 \times \left(1 - 2 \times \frac{4,43}{24}\right) = 0,50$$

- Coefficient de réduction à mi-hauteur

$$\phi_m = A_1 e^{\left(-\frac{u^2}{2}\right)}$$

Avec :

$$A_1 = 1 - 2 \frac{e_m}{t} = 1 - 2 \times \frac{4,43}{24} = 0,63$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \frac{e_m}{t}} = 0,49$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t} \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{260 \times 0,75}{24} \times \sqrt{\frac{3}{2000}} = 0,31$$

On obtient $\phi_m = 0,56$

La valeur à retenir est $\phi = \min(\phi_i; \phi_m) = 0,5$

$$N_{Rd} = l \times t \times f_d \times \phi = 1 \times 240 \times \frac{3}{2,2} \times 0,5 = 164 \text{ kN/ml}$$

L'inégalité $N_{Ed} \leq N_{Rd}$ est bien vérifiée pour les voiles 1 et 2.

C-2/ En utilisant les abaques (Partie 4.5 du Dossier Technique)

La valeur de 200 kN/ml (aux arrondi près) se retrouve en lisant dans le tableau ci-dessous la valeur de N_{Rd} à considérer pour :

- un mur de 24 cm d'épaisseur
- une hauteur libre de 2,6m
- un mur lié en tête et en pied à un plancher béton armé

charge admissible N_{Rd} [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

G. Capacité de contreventement

L'objectif du présent paragraphe est de présenter un exemple de calcul de la capacité de contreventement. Pour réaliser ce calcul, on utilise ici la méthode bielle-tirant. Conformément aux règles PS92, on adopte les critères géométriques suivants pour l'application de cette méthode :

- Dimensions entre chaînages parallèles inférieures ou égales à 5 m
- Inclinaisons des bielles limitées entre ½ et 2 (les panneaux ne respectant pas ces critères sont considérés comme des éléments secondaires)

La contrainte admissible dans la bielle est :

$$C = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{f_k}{0.5 \times N}$$

Avec :

- N : coefficient global de réduction, pris systématiquement égal à 8 pour tenir compte de l'excentrement des chaînages
- C : contrainte admissible dans la bielle

L'effort maximal admissible s'exprime alors :

$$F = C \times e \times w$$

Avec :

- F : effort dans la bielle
- e : épaisseur du remplissage
- w : largeur de la bielle prise égale à $w = \min(d/6 ; 4e)$ avec d la longueur de la bielle (diagonale du panneau)

Les Tableau 5 et 6 présentent de détail du calcul de la capacité de contreventement pour les voiles 1 et 2 : vérification du critère géométrique et détermination de la capacité de contreventement (composante horizontale de l'effort maximal dans la bielle).

Géométrie	1	2	
Epaisseur [e]	0,24	0,24	m
hauteur libre [h]	2,6	2,6	m
longueur	2,0	5,0	m
Ratio longueur / hauteur	0,77	1,92	
critère géométrique	OK	OK	

Tableau 5: calcul de la capacité de contreventement

Capacité de contreventement	1	2	
contrainte admissible	0,75	0,75	MPa
longueur de la bielle	3,28	5,64	m
hauteur de la bielle [w]	0,55	0,94	m
inclinaison	0,92	0,48	rad
Effort capable dans la bielle	98	169	kN
Composante horizontale	60	150	kN
Composante verticale	78	78	kN

Tableau 6: calcul de la capacité de contreventement

La vérification de la contrainte dans la bielle est complétée par une vérification de la contrainte dans les aciers du chaînage en traction. Dans notre cas, on vérifie que 4H10 suffisent à équilibrer l'effort vertical de 78 kN.

4. Annexe n°4 – Caractéristiques du matériau Béton de bois

Poids des panneaux

Le tableau ci-dessous présente le poids surfacique des panneaux CS2 :

Epaisseur des panneaux PLEINS (cm)	Poids (Kg/m ²) moyen	Poids (Kg/m ²) majoré
	(Masse volumique de 800kg /m ³)	(Masse volumique +20%)
20	160	192
24	192	230
28	224	269
30	240	288
40	320	384

Tableau : Poids surfacique des panneaux pleins CS2

Pour le transport et le levage il est conseillé de travailler avec le poids majoré (calculé avec +20%).

Valeurs pour les calculs de dimensionnement

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

Caractéristiques pour l'analyse structurale - Séisme

Module d'élasticité E_y	Les articles (6) et (7) du paragraphe 4.3.1 de l'Eurocode 8 préconisent de prendre $E/2$ pour l'analyse sismique, soit : $E_y = 1000 \text{ Mpa}$
Coefficient de comportement q	Pour un bâtiment uniquement en panneaux CS2, on prendra : $q = 2,5$ (classe DCM) Pour un bâtiment mixte en panneaux CS2 / voiles béton armé, on prendra sans justification particulière : $q = 1,5$ (classe DCL) <i>Pour des valeurs supérieures, apporter les justifications demandées dans l'Eurocode 8</i>

Tableau des paramètres de l'analyse structurale

Les coefficients de comportement ci-dessus sont valables uniquement si la mise en œuvre des chaînages suit les dispositions détaillées en parties 4.6.2, 4.6.3 et 4.6.4 du dossier technique, ces dispositions s'appuyant sur l'Eurocode 8 et les essais de caractérisation.

Valeurs N_{Rd} de descentes de charges admissibles :

Les tableaux suivants donnent la charge admissible en kN/ml pour le cas où $h_{ef} = 0,75 \text{ h}$.

Charge admissible N_{Rd} [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 N_{Rd} [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

Dimensionnement à l'état limite de service (ELS)

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

Résultats d'essais de cisaillement – différentes configurations :

Type Essai	Moyenne Fu [kN]	Type de rupture	Moyenne f _{v0} [MPa]	f _{v0k} [MPa]
Cisaillement en statique sur Monobloc de béton de bois	180,6 ± 10,4	/	0,90 ± 0,05	0,72
Cisaillement en cyclique sur Monobloc de béton de bois	223,7 ± 9,8	/	1,12 ± 0,05	0,896
Cisaillement en statique sur 3 blocs de béton de bois liés au mortier	97,0 ± 2,4	Rupture par cisaillement sur la surface de collage du mortier	0,49 ± 0,01	0,392
Cisaillement en cyclique sur 3 blocs de béton de bois liés au mortier	96,8 ± 1,9	Rupture par cisaillement sur la surface de collage du mortier	0,48 ± 0,01	0,384
Cisaillement en statique sur 2 blocs de béton de bois TimberRoc liés par un bloc béton	135,0 ± 11,0	Rupture par cisaillement sur la surface liaison entre les blocs	0,75 ± 0,06	0,60
Cisaillement en cyclique sur 2 blocs de béton de bois TimberRoc liés par un bloc béton	120,3 ± 4,1	Rupture par cisaillement sur la surface liaison entre les blocs	0,66 ± 0,02	0,528

Selon la norme NF EN 1052-3, la résistance caractéristique f_{v0k} est définie comme la contrainte moyenne f_{v0} multipliée par un coefficient égal à 0,8. Par conséquent, f_{v0k} = f_{v0} * 0,8.

Résultats d'arrachement et cisaillement de tirefonds / vis

Attention : il est nécessaire pour les vissages structuraux d'appliquer un coefficient de sécurité sur les valeurs caractéristiques.

Tirefonds DIN 571**Résultats des essais sur éprouvettes - panneaux secs**

Types de tirefonds		8/140	10/140	12/140	12/160	12/180	12/200	12/240	14/160
Epreuve d'essai		Panneau 16cm	Panneau 16cm	Panneau 16cm	Panneau 24cm	Panneau 24cm	Panneau 24cm	Panneau 24cm	Panneau 24cm
Mode vissage		Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Direct	Avant-trou D10mm
Face testée		Fond de coffrage	Fond de coffrage	Fond de coffrage	-	Dessus de coffrage	-	-	-
Moyenne 10 essais [kN]		6,0	7,8	7,4	10,2	11,3	13,1	20,6	12,8
Ecart type		1,0	1,1	1,0	1,2	1,7	1,8	3,1	1,8
Coefficient de variation		16%	14%	13%	11%	15%	14%	15%	14%
Coef kn		1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92	1,92
Valeur caractéristique [kN]		4,2	5,7	5,5	7,9	8,1	9,7	14,6	9,2

Vis de type TLL de ROTHOBLAAS

Résultats des essais sur éprouvettes - panneaux secs

Types de vis		TLL 8/140	TLL 6x140	TLL 8x140	TLL 10x140
Eprouvette d'essai		Panneau 16cm	-	-	-
Face testée		Fond de coffrage	Dessus de coffrage	Dessus de coffrage	Dessus de coffrage
Moyenne 10 essais [kN]		5,0	4,0	6,3	4,9
	Ecart type	0,7	0,4	0,7	0,9
Coefficient de variation		13%	9%	11%	18%
	Coef kn	1,92	1,92	1,92	1,92
Valeur caractéristique [kN]		3,8	3,3	5,0	3,2

Chevilles à ETICS de type WEBER

Résultats des essais sur éprouvettes - panneaux secs

Type de chevilles à ETICS		WEBER
Eprouvette d'essai		Panneau 24cm
Face testée		Dessus de coffrage
Moyenne 10 essais [kN]		2,2
	Ecart type	0,2
Coefficient de variation		0,11
	Coef kn	2,33
Valeur caractéristique [kN]		1,6

Tirefonds DIN 571

Résultats des essais sur éprouvettes - panneaux à jeune âge

Types de tirefonds		14/160	12/160	12/200
Eprouvette d'essai		Panneau 20cm		
Mode vissage		Direct	Direct	Direct
Face testée		Fond de coffrage	Fond de coffrage	Fond de coffrage
Moyenne 10 essais [kN]		6,0	5,9	7,4
	Ecart type	0,4	0,5	0,7
Coefficient de variation		7,2%	8,2%	9,0%
	Coef kn	1,92	1,92	1,92
Valeur caractéristique [kN]		5,2	5,0	6,1

5. Annexe n°5 – Sécurité incendie

La tenue au feu des murs composés de panneaux **CS2** est justifiée par les propriétés intrinsèques au feu des panneaux **TimberRoc**. Les durées de résistance au feu des panneaux **CS2**, sont indiquées dans l'APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N° AL21-304 du CSTB.



APPRÉCIATION DE LABORATOIRE N° AL21-304

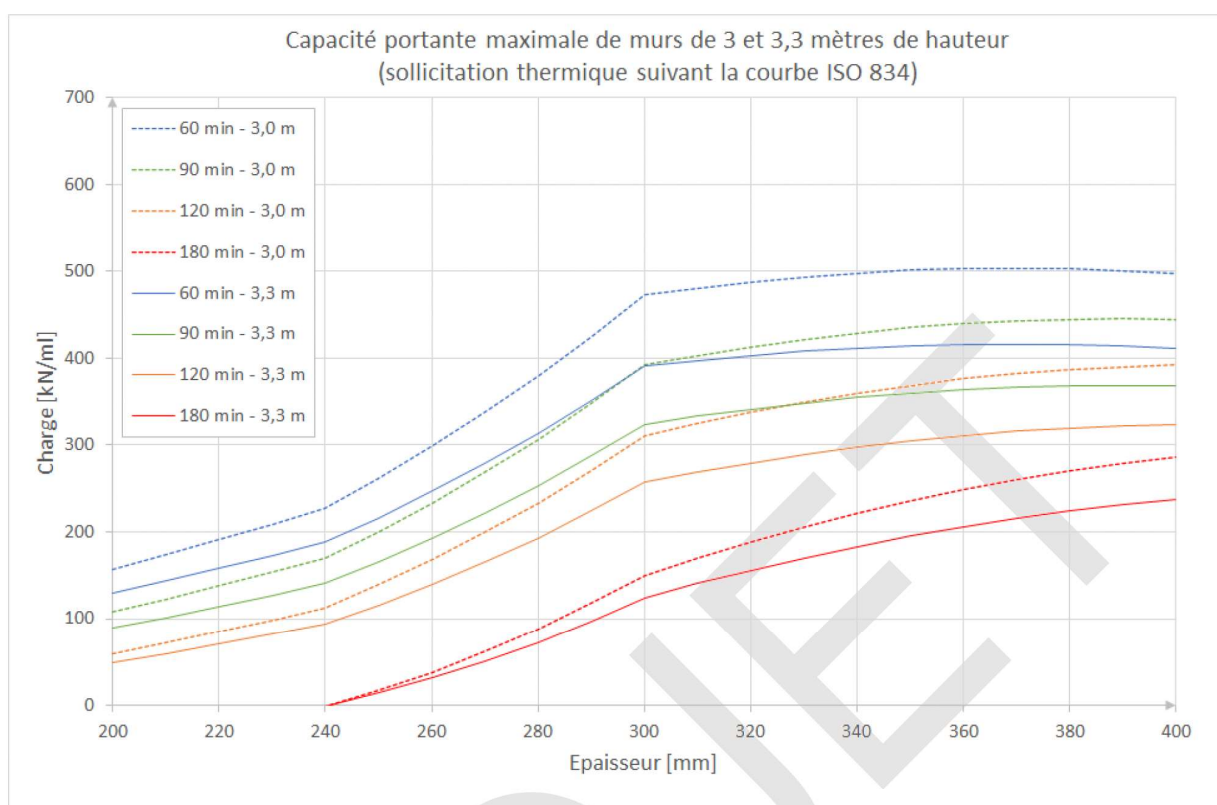


Figure 5.2 : Capacité portante des murs porteurs considérés selon l'épaisseur et la performance au feu recherchée

Ces valeurs sont valables pour des murs en béton de bois non revêtus.

6. Annexe n°6 : Notice de montage des panneaux CS2 de hauteur $\leq 3,3\text{m}$

Matériel nécessaire à la mise en œuvre

- Equipements de protection individuelle EPI de chantier
- Marteau, massette, crayon de chantier, mètre
- Balai, niveau laser ou optique, niveau à bulle, cordeau, cales PVC de 2,5mm à 10mm
- Etais tirant-poussant, barre à mine, pied de biche
- Elingues de manutention, élingue à poulie et élinguettes de répartition
- Perceuse à percussion, visseuse à chocs, tirefonds et vis à béton
- Planches de coffrages et ferrailles pour chaînages, équerres, liaisons ferrailles, ...
- Benne de bétonnage avec manchette – matériel de bétonnage (truelle, ...)
- Kit de montage TimberRoc (équerre, mortier colle)

Principales étapes de mise en œuvre sur chantier

Avant le démarrage du chantier, il convient de s'assurer que l'entreprise de maçonnerie / pose est formée et connaît les spécificités de mise en œuvre des produits panneaux TimberRoc.

1/ Organisation du chantier et sécurité

Afin de garantir la sécurité du personnel et limiter les manutentions, une zone de déchargement et de stockage des panneaux TimberRoc doit être prévue au plus près de la construction. Une zone de déchargement distincte est à prévoir pour les autres matériels tels que planche de coffrages, ferrailage...

Une zone de préparation et découpe des armatures métalliques est nécessaire ainsi qu'une zone de préparation et de découpe des planches de coffrage.

Des alimentations en électricité et eau doivent être mises en place.

2/ Mise à disposition des panneaux sur chantier

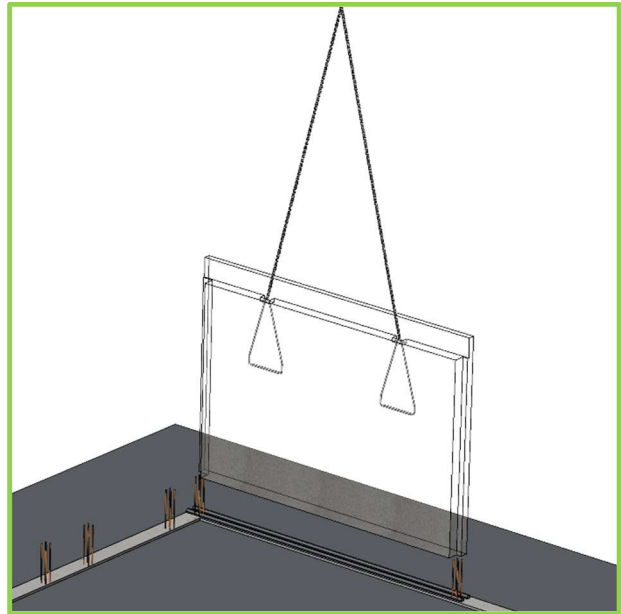
Les panneaux sont acheminés et stockés sécurisés sur des racks de chargement prévus à cet effet.

3/ Elingage des panneaux

Chaque panneau intègre des ancrages pour le levage. Ces ancrages sont noyés dans le béton de bois lors de la fabrication. La CMU de ces ancrages est donnée dans l'annexe n°2 du dossier technique « Panneaux CS2 ».

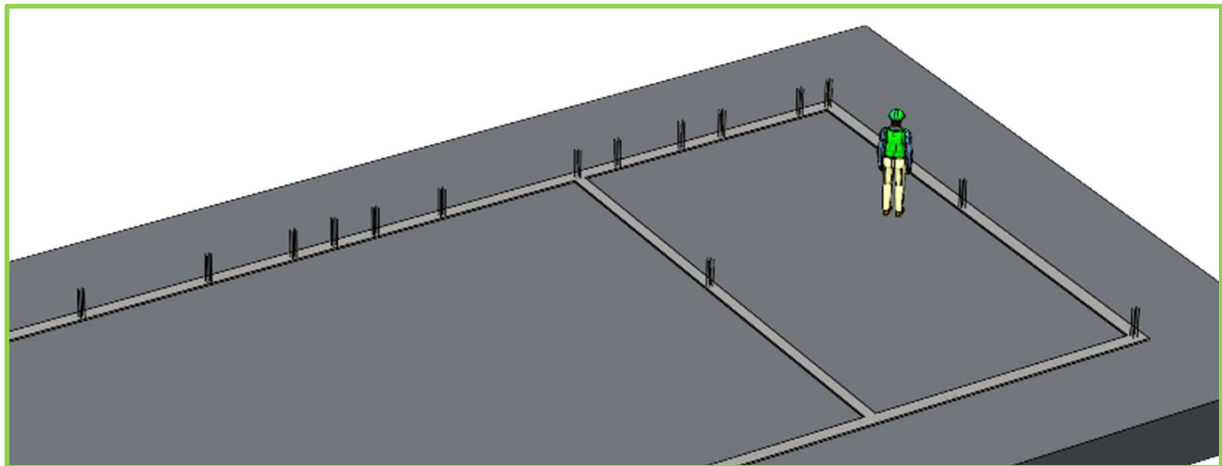
L'élingage doit être effectué avec des éléments de levage dont les CMU sont dimensionnées pour le panneau concerné. Des chaînes de levage de longueur minimum équivalente à la longueur du panneau sont préconisées.

Les éléments de levage doivent être suffisamment long pour permettre un angle minimum de 60° tel que défini dans l'annexe n°2.



4/ Préparation pose des panneaux

Réalisation et vérification de la planéité de la semelle en arase des murs de hauteur 3cm en moyenne.



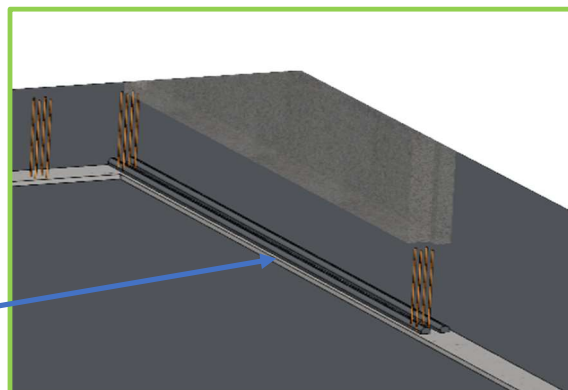
Contrôle des caractéristiques et du positionnement des armatures en attentes.

Traçage de la position des panneaux sur la semelle.

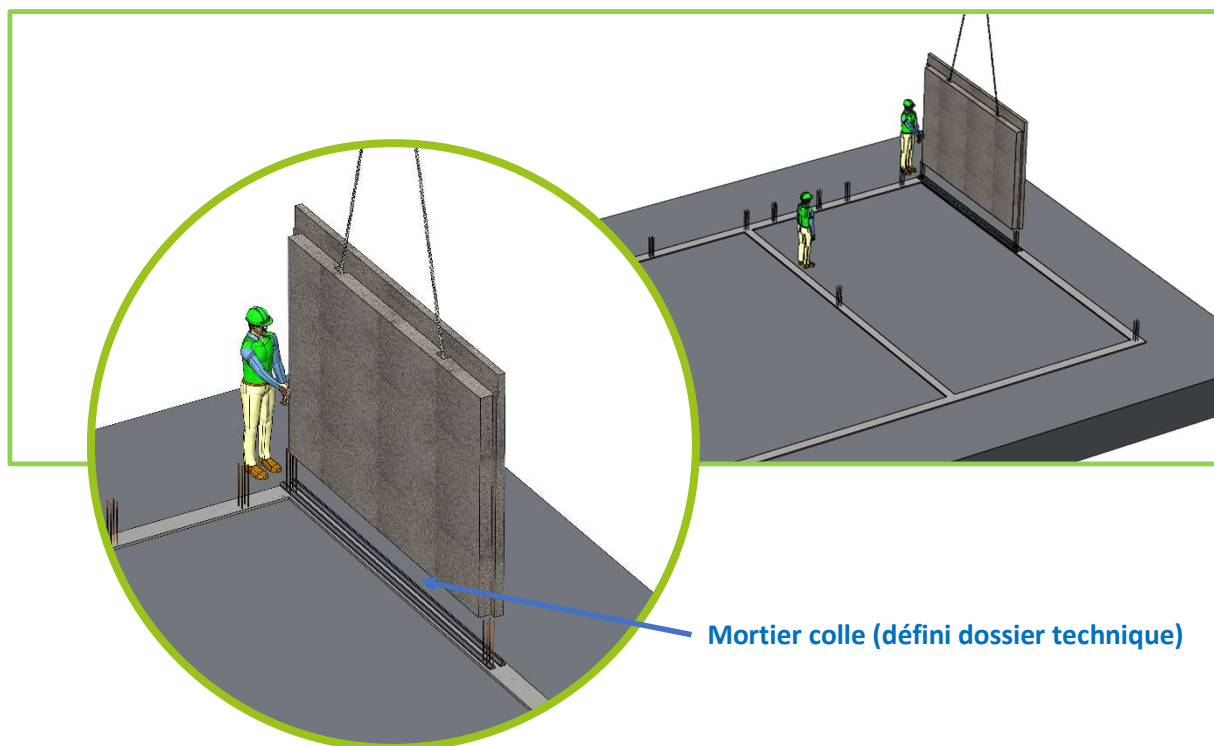
5/ Pose de mortier

Pose de mortier sur la base à l'avancement répartie de façon homogène.
Pose de 2 boudins à la truelle, parallèles s'écrasant lors de la pose. Le mortier est préparé à l'avancement.

Mortier (défini dossier technique)



6/ Pose du premier panneau



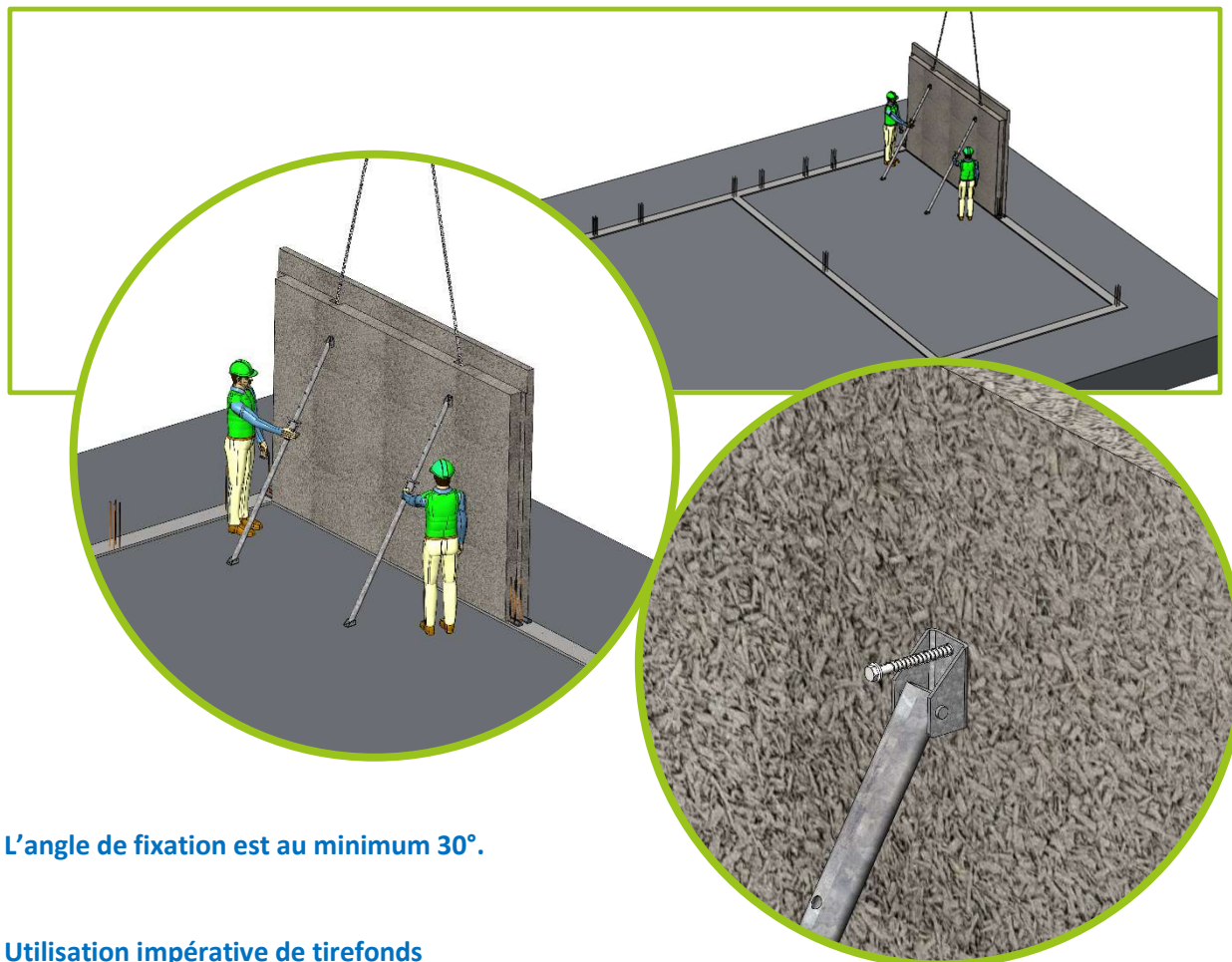
Pose des murs TimberRoc en utilisant une grue automotrice correctement dimensionnée.

Le levage des panneaux se fait uniquement par les boucles intégrées aux panneaux à cet effet. Les murs les plus longs peuvent comporter 3 à 4 boucles de levage. La manutention des murs se fait par un palonnier multi points réglables ou par un palan à chaînes avec réglage en veillant à réduire l'angle de levage au minimum.

Un opérateur est chargé de guider le panneau en le maintenant sur un bord, en veillant à rester à bonne distance, sans jamais se retrouver directement sous la charge, afin de le positionner correctement et d'éviter tout déplacement non contrôlé dû au vent ou système de levage.

Si nécessaire un calage pour régler l'horizontalité des panneaux.

7/ Sécurisation du panneau, réglage de l'aplomb et du positionnement



L'angle de fixation est au minimum 30°.

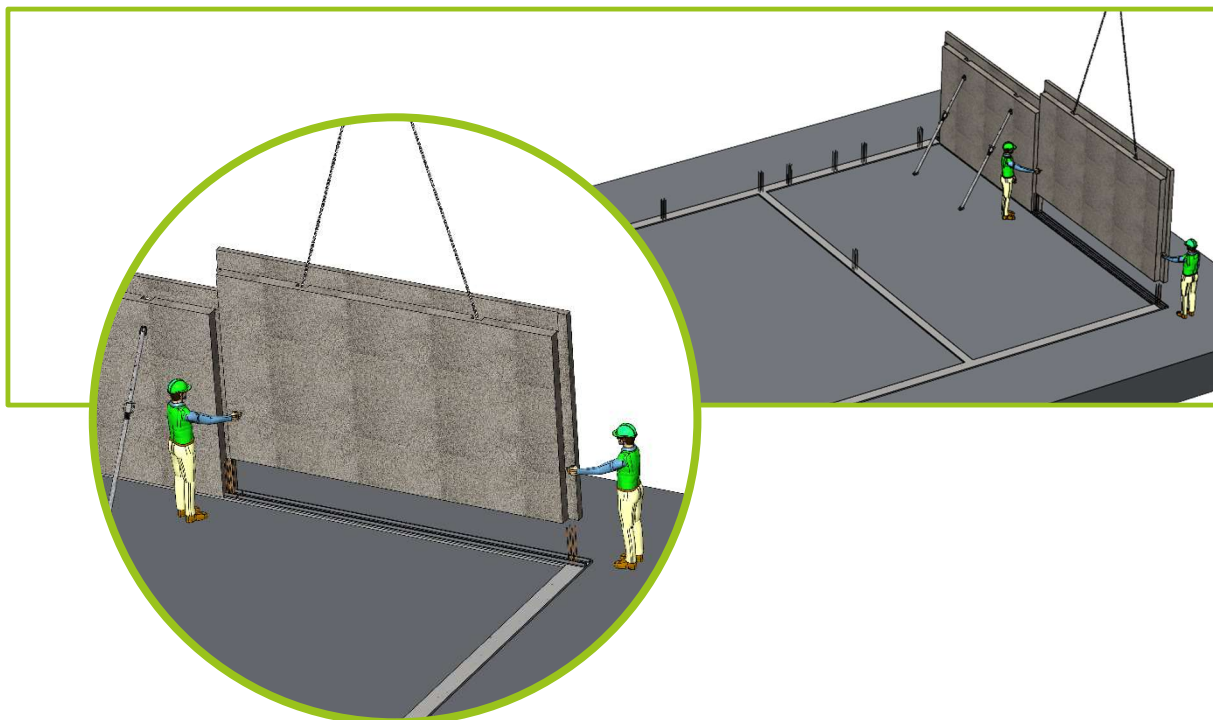
Utilisation impérative de tirefonds pour la fixation des têtes des étais.

Fixation des étais tirant-poussant ou des équerres de maintien en angle, à raison de 2 par murs. L'étais est fixé à environ 70% de la hauteur du mur directement par vissage dans le béton de bois (2 tirefonds /vis D12*160mm avec filetage sur toute la longueur).

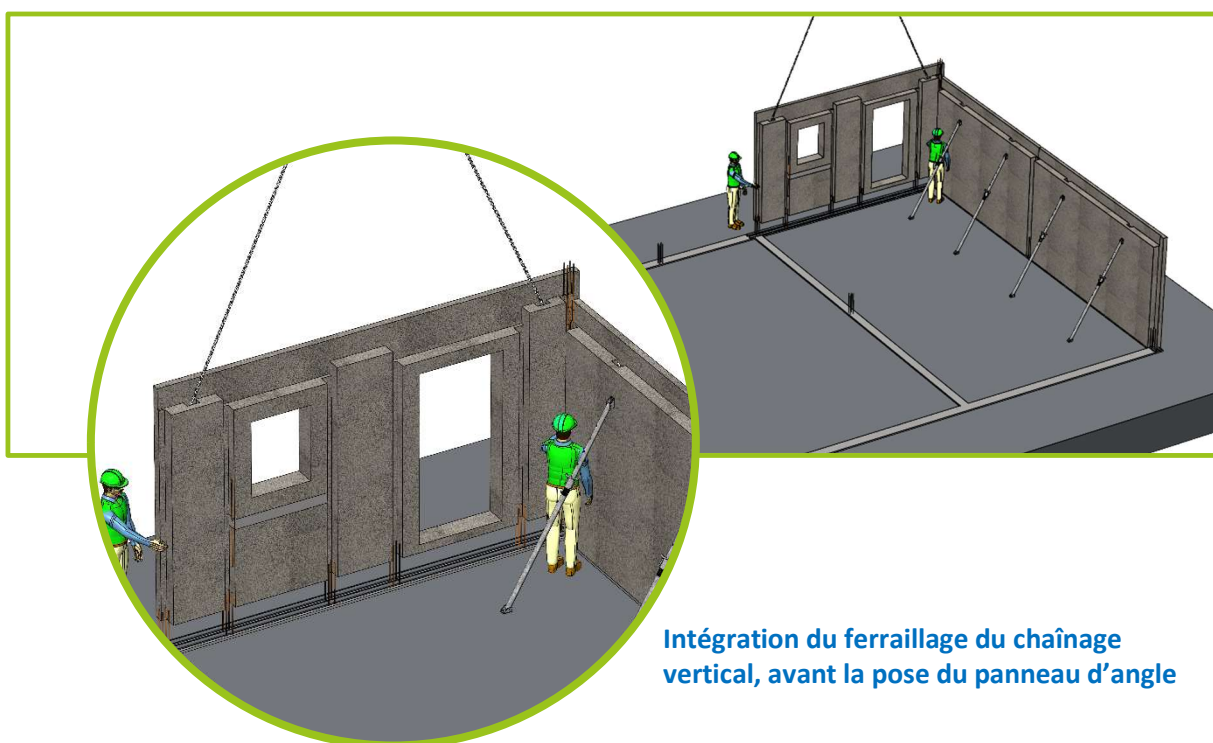
La stabilisation au sol se fait soit par ancrage à l'aide de vis béton dans la dalle pleine, soit par fixation sur des lests en béton. Lorsque la stabilisation est finalisée, le dispositif de levage peut être retiré.

Le réglage de l'aplomb des panneaux se fait sur les étais tirant-poussant en vérifiant avec un niveau laser ou à bulle : c'est une étape importante pour la qualité de la construction et la sécurité mécanique de l'ouvrage (plombage des descentes de charges).

8/ Mise en place d'un panneau aligné suivant calepinage

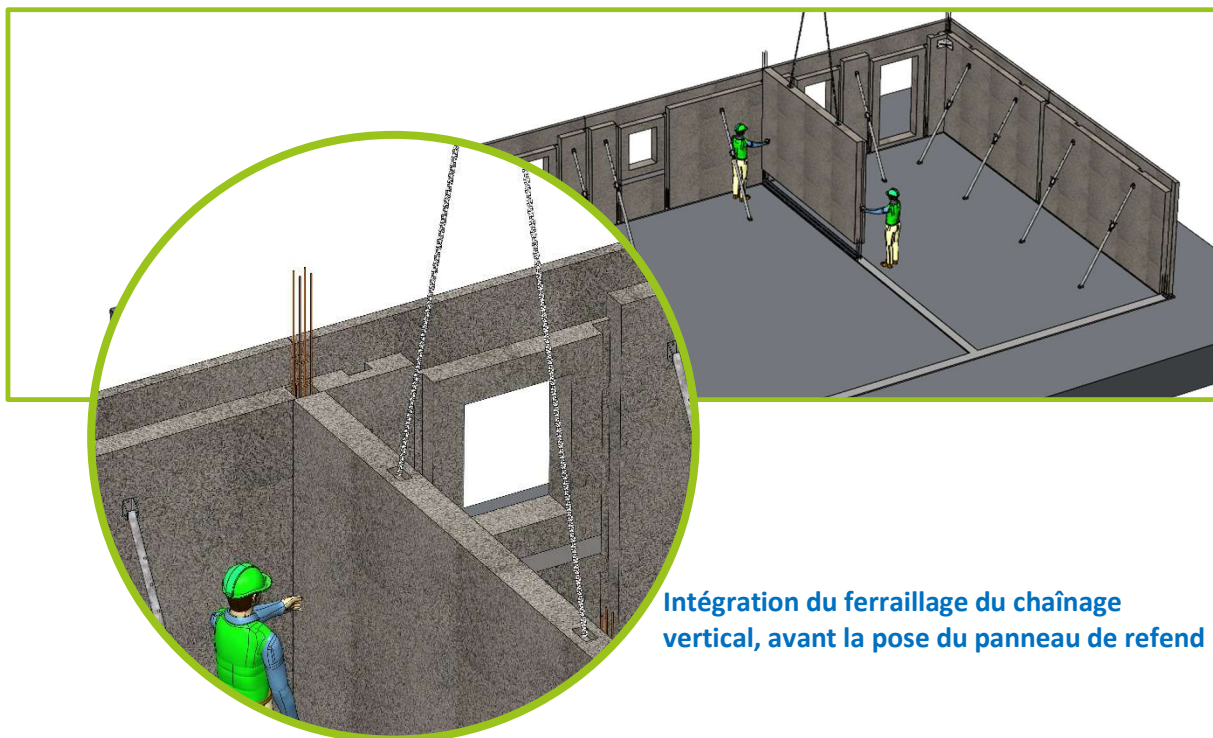


La pose se fait progressivement selon le plan de calepinage fourni.

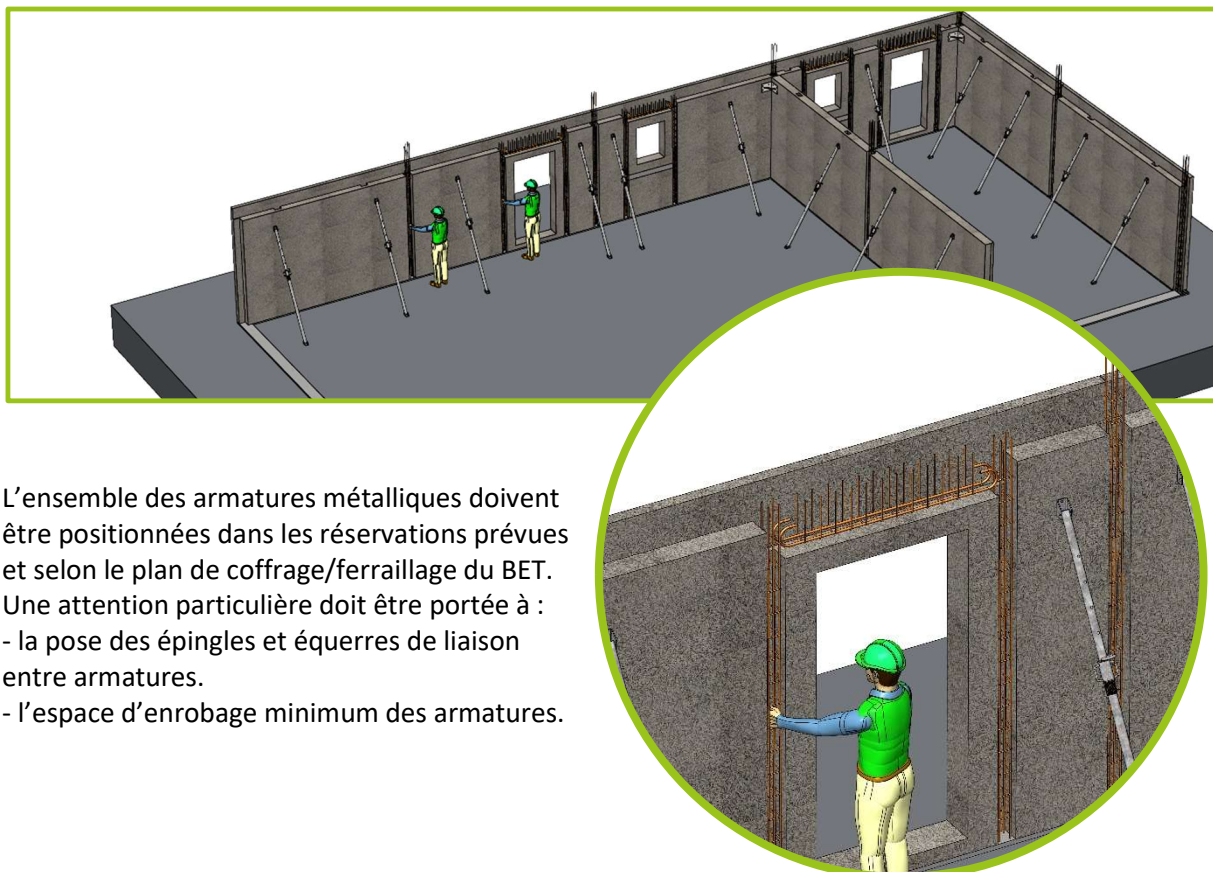


Intégration du ferrailage du chaînage vertical, avant la pose du panneau d'angle

9/ Mise en place d'un panneau de refend selon plan calepinage



10/ Mise en place des armatures métalliques de chaînages / poteaux verticaux & linteaux



11/ Mise en place des coffrages des chaînages / poteaux verticaux



Epaisseur minimum des planches 23 mm

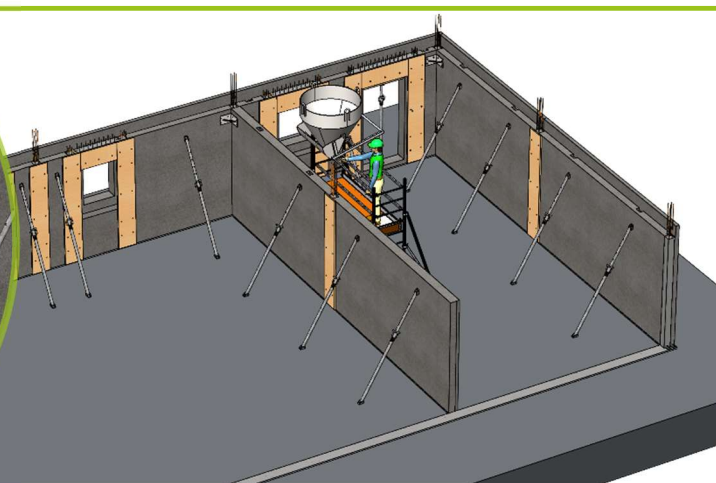
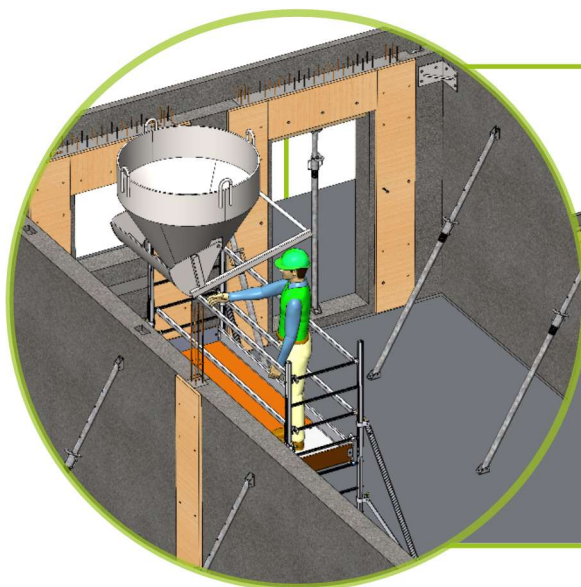
Entraxe des vis plus faible sur la partie basse
Pour compenser la poussée du béton

Etayage des ouverture de largeur > 80cm



Les réservations sont fermées par des planches de coffrage, préalablement huilées sur la face intérieure. Les planches sont directement fixées par vissage dans le béton de bois à raison de minimum 4 vis M10*120 par côté sur la hauteur d'un panneau de 3 m.

12/ Coulage béton des chaînages / poteaux verticaux

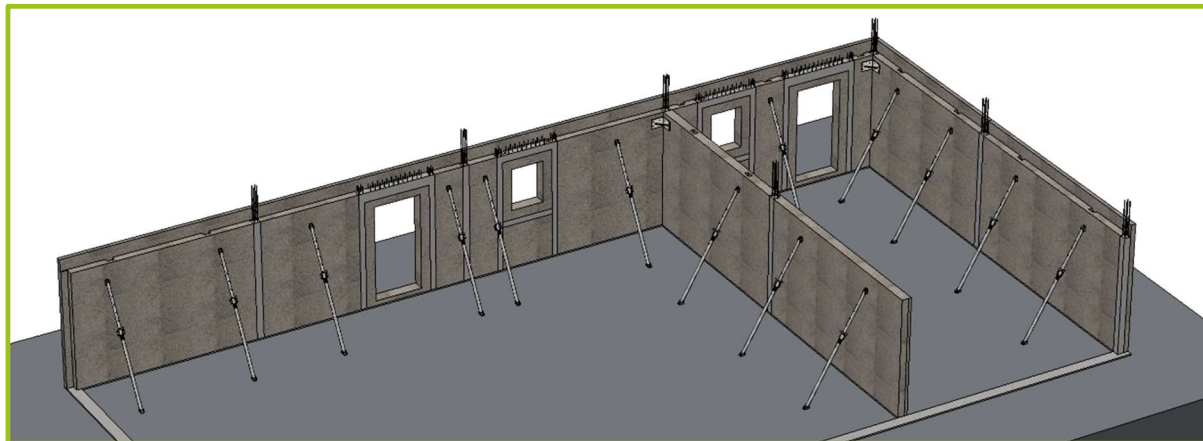


Après un léger mouillage intérieur des réservations, le coulage du béton se fait depuis un poste de bétonnage en hauteur : plateforme de travail, échafaudage roulant, nacelle automotrice ou plateforme périphérique fixée aux murs.

Le béton utilisé doit être conforme à la prescription du plan de coffrage/ferraillage du BET.

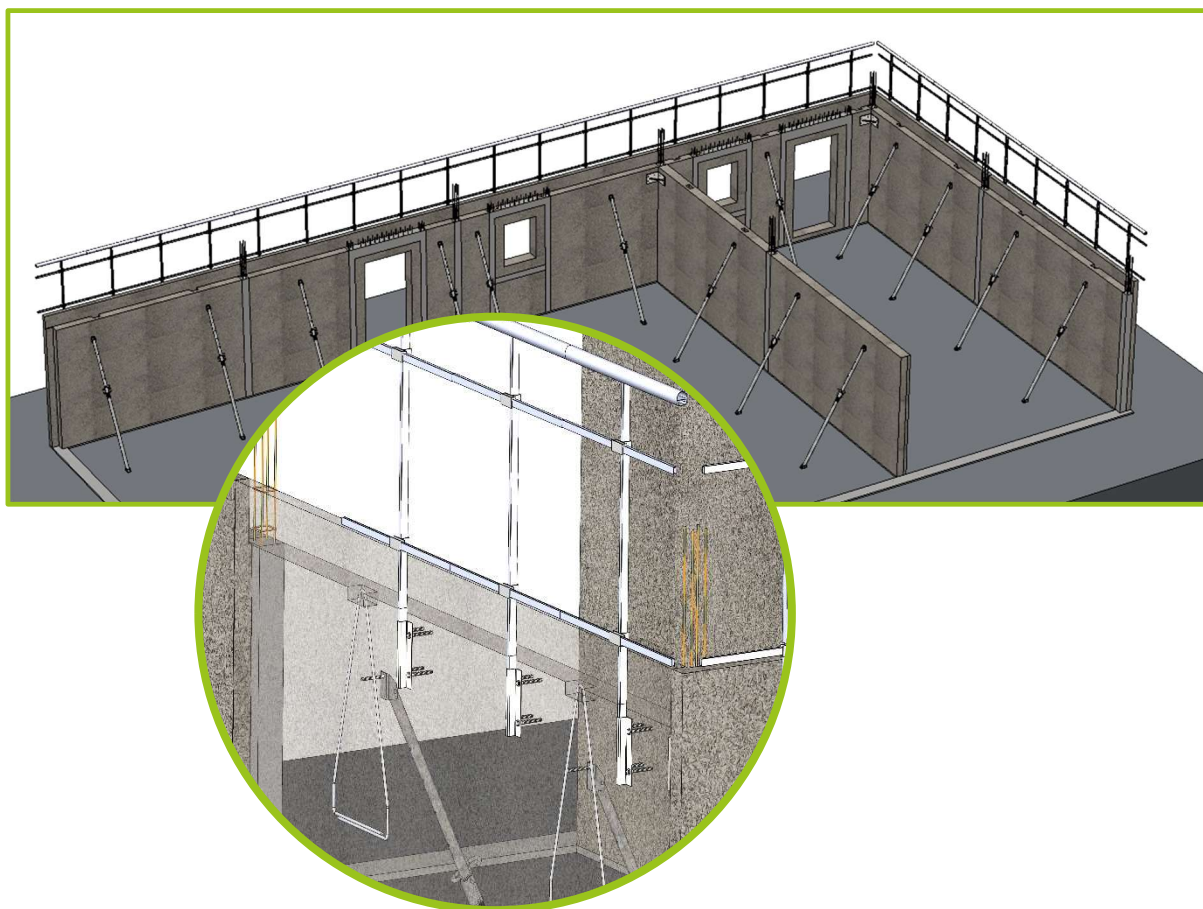
Une vigilance particulière doit être apportée lors du coulage des angles, les panneaux doivent fermement maintenus pour que l'assemblage ne se déforme pas sous la poussée du béton coulé.

13/ Décoffrage

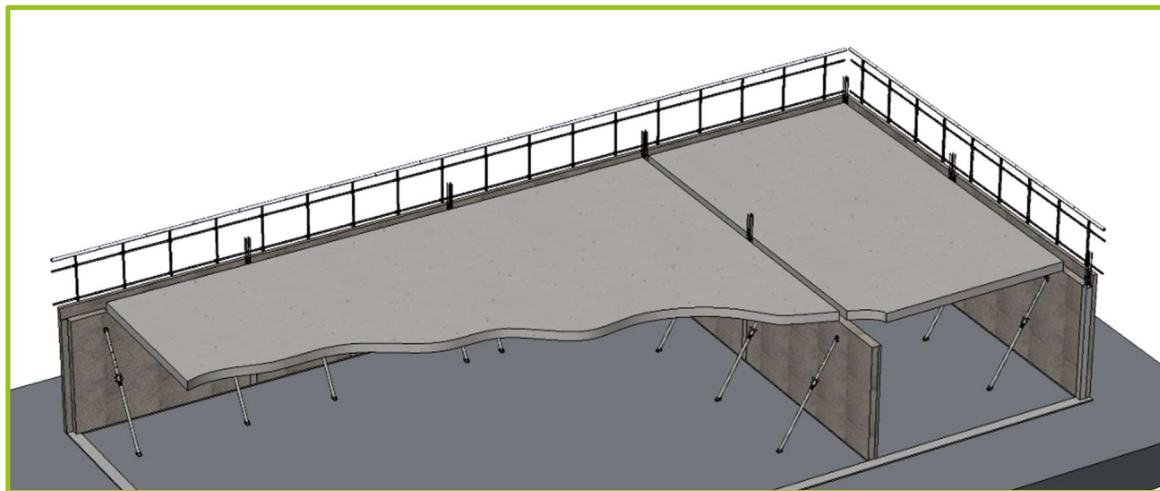


Décoffrage des chaînages / poteaux verticaux & linteaux.

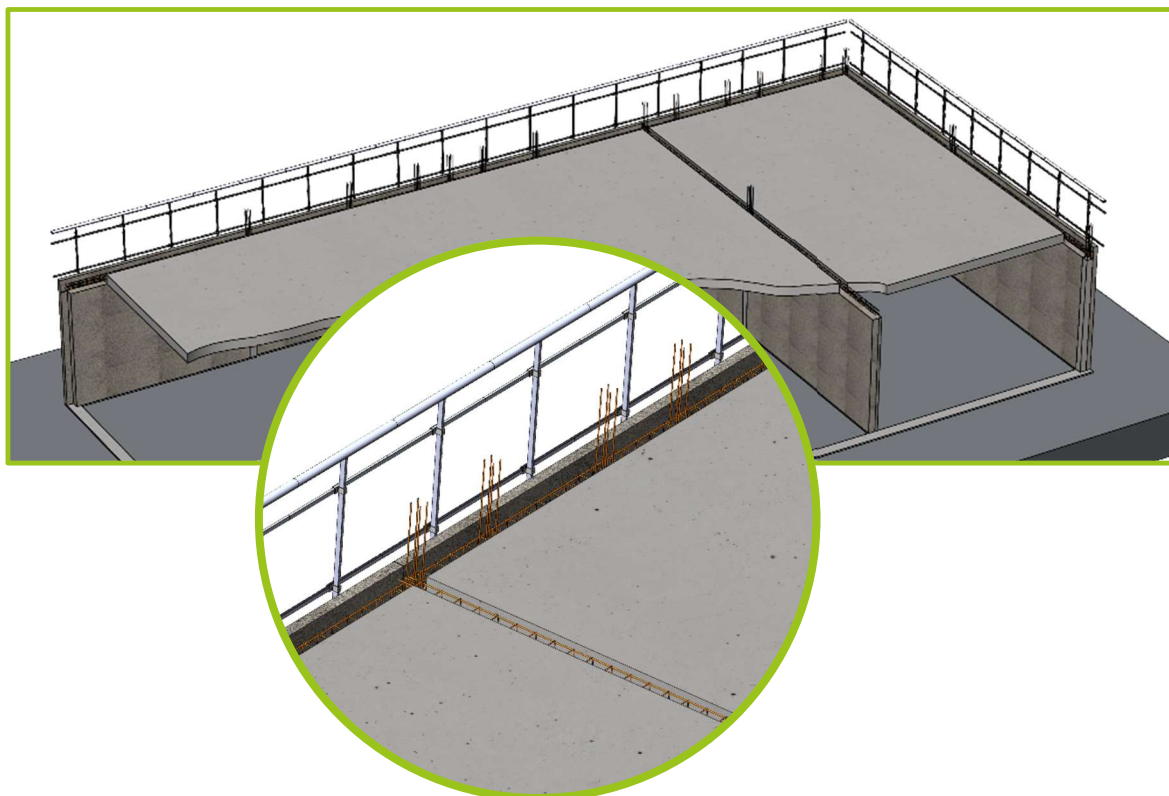
14/ Pose des gardes corps de sécurisation du niveau R+1



Les garde-corps de sécurité sont fixés directement sur les murs TimberRoc sur l'extérieur.
Fixer les platines de fixation des garde-corps au-dessous du niveau des planelles intégrées.

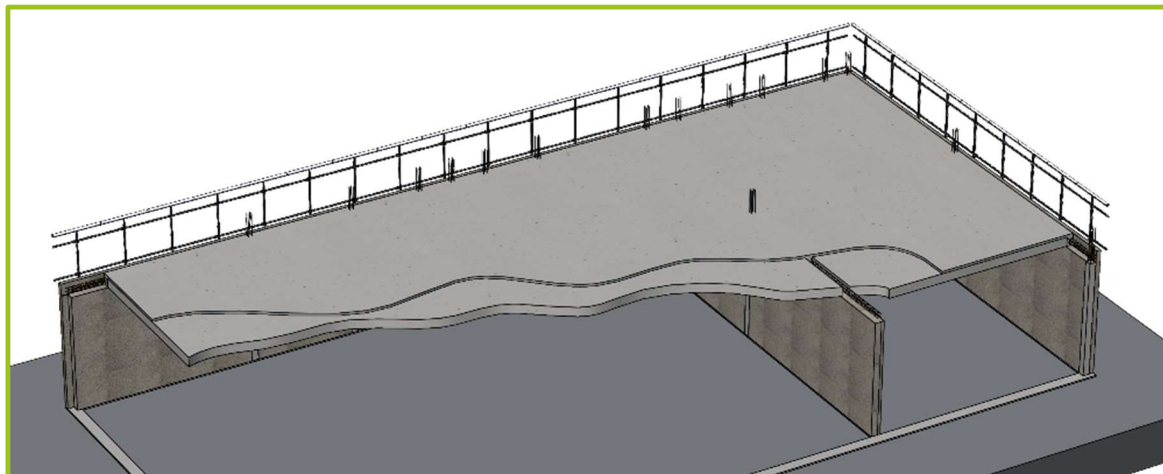
15/ Pose du plancher d'étage / prédalle / préparation pour dalle pleine

Les planchers sont mis en place selon le plan du BET et en respect du principe constructif de ceux-ci. Les étais de stabilisation des panneaux peuvent être retirés au séchage du plancher.

16/ Pose des armatures métalliques de chaînage / poutres horizontaux + attentes du niveau supérieur

Les armatures de chaînages / poutres sont mises en place selon le plan de ferrailage du BET et en veillant à bien positionner les armatures de liaison nécessaires.

17/ Coulage du béton des chaînages horizontaux, poutres et dalle



Le coulage se fait depuis le plancher haut avec le béton spécifié dans les plans de coffrage / ferrailage du BET.

18/ Enchaînement sur le niveau supérieur



Pour l'étage R+1 , le cycle des étapes est identique (hormis sur la mise en œuvre de la semelle hydrofugée).

Les joints extérieurs entre murs sont traités selon l'agrément technique TimberRoc.

7. Annexe n°7 : Caractéristiques hygrothermiques des murs CS2 en béton de bois

Tableau A7.0 – Quelques propriétés du béton de bois des panneaux CS2

Matériau	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	0,16	800 (stabilisé en utilisation)	10	18.10^{-6} (K ⁻¹)	0,108MJ/kg (en 24cm)

- Courbe sorption/désorption TimberROC (rapport LNE P212466-3 du 09/20/2022) :

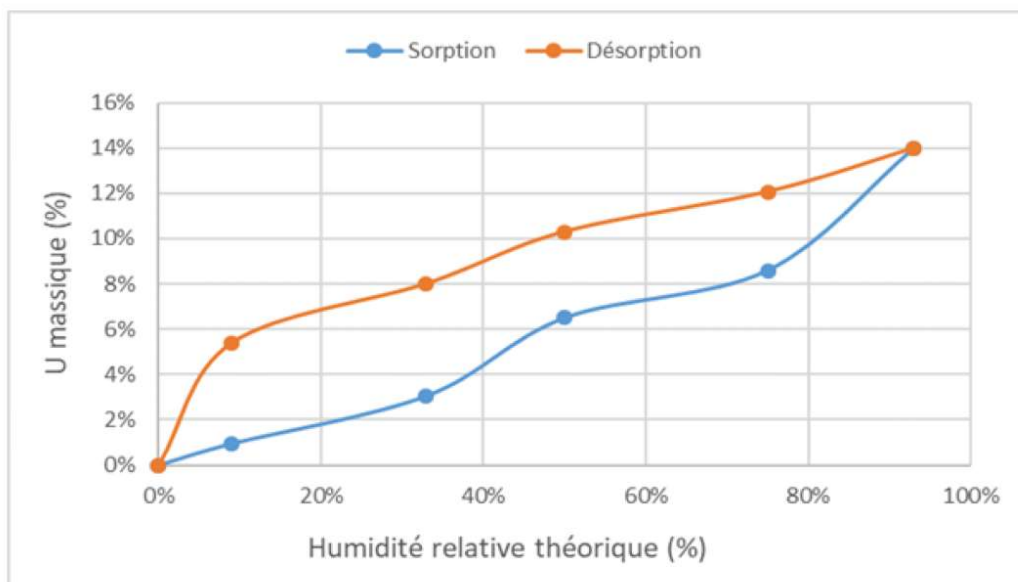


Tableau A7.1 – Coefficient de transmission surfacique en partie courante des panneaux CS2

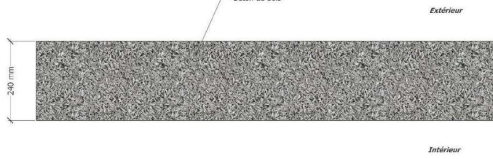
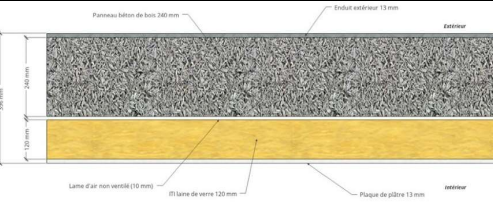
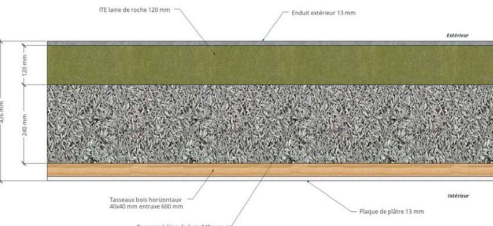
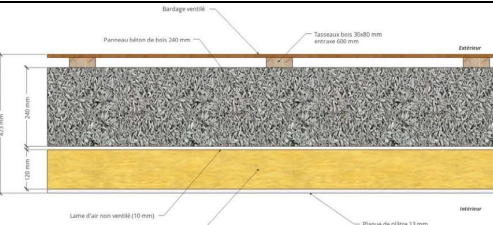
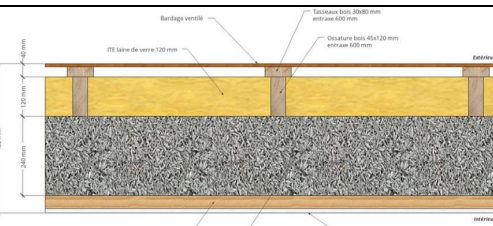
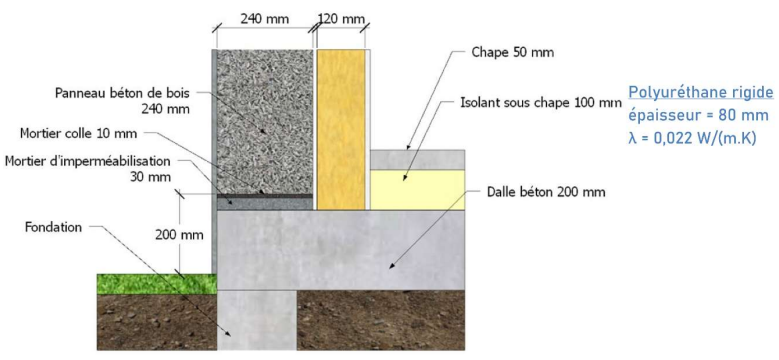
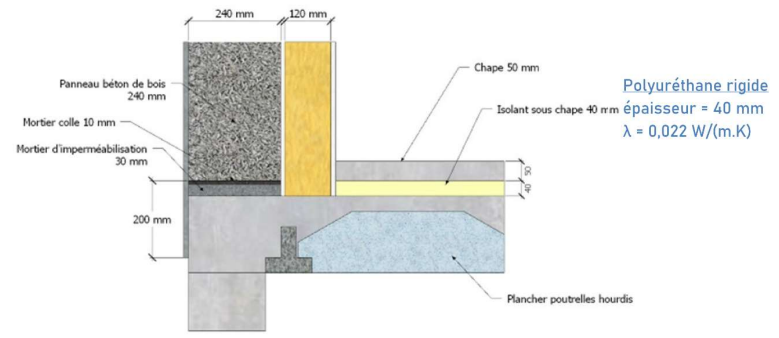
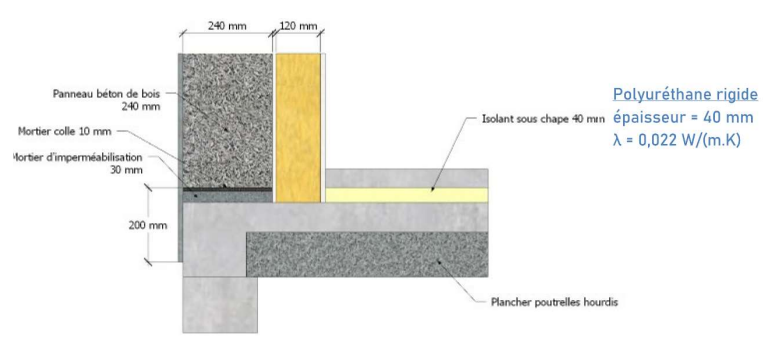
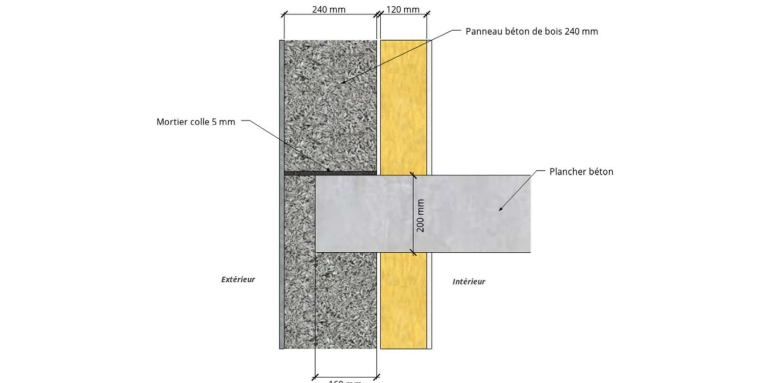
Epaisseur	Configurations	Up (W/m ² .K)
160 mm		0.855
240 mm		0,599
240 mm		0,177
240 mm		0,197
240 mm		0.172
240 mm		0.190

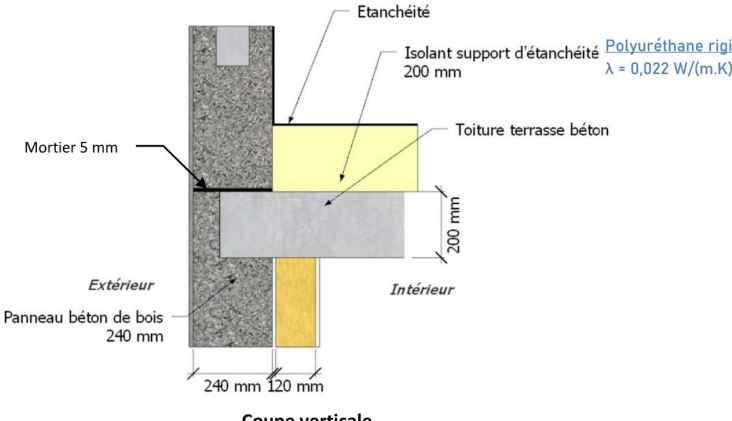
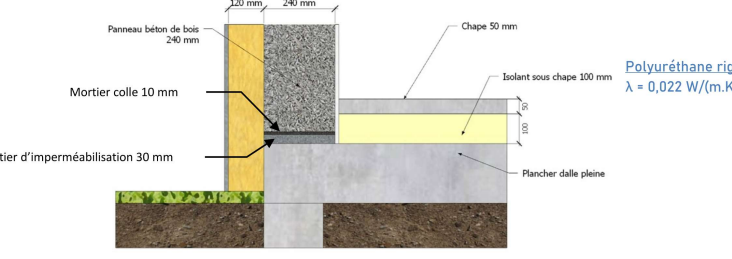
Tableau A7.2 – Coefficient des ponts thermiques linéaires Ψ de jonctions de panneaux CS2

Dénomination	Configurations	Ψ (W/(m.K))
Angle sortant entre panneaux 240mm avec ITI		0.025
Angle rentrant entre panneaux 240mm avec ITI		0.074
Jonction entre panneaux 240mm avec ITI		0.034
Jonction entre panneaux 240mm avec ITE		0.040

Tableau A7.3 – Coefficient des ponts thermiques linéaires Ψ de jonctions avec dalles

Dénomination	Configurations	Ψ (W/(m.K))
Jonction pied de façade sur dalle terre-plein	 Coupe verticale	0.064
Jonction pied de façade, dalle plancher poutrelles-hourdis sur vide sanitaire	 Longitudinal	0.109
	 Transversal	0.117
	Moyenne 0.114 Coupes verticales	
Jonction nez de plancher béton intermédiaire	 Coupe verticale	0.397

Dénomination	Configurations	Ψ (W/(m.K))
Jonction nez de plancher poutrelles-hourdis / béton intermédiaire		Longitudinal 0.271 Transversal 0.195 Moyenne 0.225
Jonction nez de plancher béton intermédiaire avec ITE		0.061
Jonction nez de plancher DS1 (béton de bois) / béton intermédiaire		Longitudinal 0.295 Transversal 0.270 Moyenne 0.280

Jonction acrotère avec toiture terrasse béton	 0.391	
Jonction pied de façade ITE sur dalle béton terre-plein	 0.104	

8. Annexe n°8 : Exemples de performances acoustiques

Exemples d'indices d'affaiblissement acoustique de façades intégrant les panneaux CS2

Configuration	Classification EN 717-1 (dB)	
Mur de 24cm + enduit hydraulique extérieur	$R_A = R_W + C$	49
	$R_{A,tr} = R_W + C_{tr}$	46
Mur de 24cm brut + Isolation Thermique Intérieure + plaque plâtre	$R_A = R_W + C$	49
	$R_{A,tr} = R_W + C_{tr}$	43
Mur de 24cm + Isolation Thermique Intérieure + plaque plâtre + enduit hydraulique extérieur	$R_A = R_W + C$	68
	$R_{A,tr} = R_W + C_{tr}$	62

9. Annexe 9 : Transport et stockage des panneaux TimberRoc

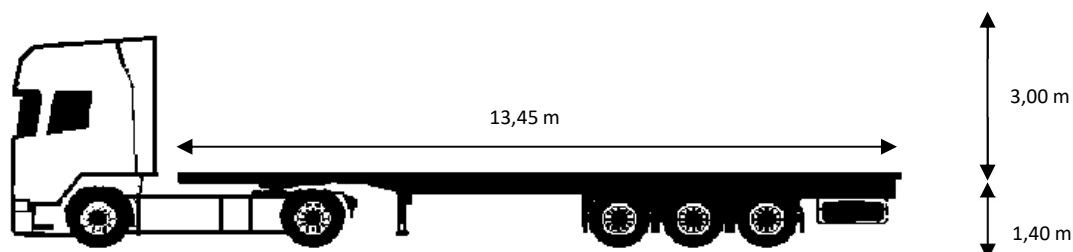
On distingue deux types d'ETS (Equipement de Transport et de Stockage) : les Boxes et les Racks.

→ Livraison en Boxes :

Type de camion pour ce mode d'ETS :

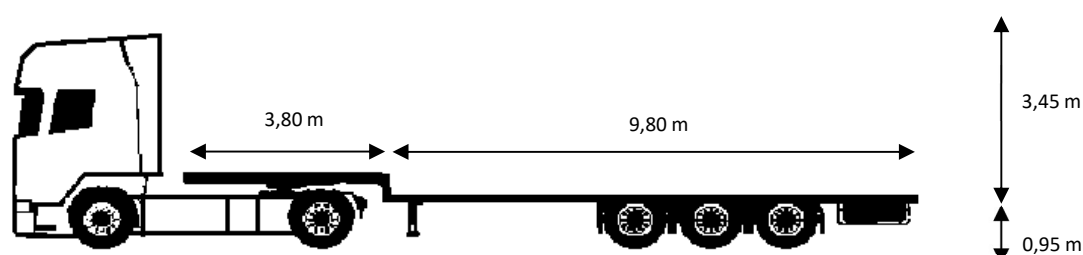
Par camion avec remorque plateau : Charge maxi 25 Tonnes

Hauteur max disponible : 3,00 m



Par camion avec remorque surbaissée : Charge maxi 25 Tonnes

Hauteur max disponible : 3,45 m



Les dimensions des boxes sont en largeur environ 2,40 m et en longueur 2,40 m à 3,00m.

Leur poids à vide varie de 1 Tonne à environ 1,5 Tonne et la charge maximale admissible est de 20 Tonnes. Les boxes sont acheminées sur remorque plateau ou surbaissée. En fonction de la dimension en longueur des panneaux, jusqu'à 4 boxes peuvent être ainsi livrés sur le même camion. Les panneaux sont sanglés au box afin d'éviter les chutes.

Il existe deux types de boxes chez les industriels licenciés :

- Boxes à levage à vide :

Les panneaux doivent être déchargés un par un. Le box ne doit en aucun cas être soulevé alors qu'il contient des panneaux ; les anneaux de levage sont uniquement prévus pour les manipulations en usine de la box.

Pour éviter les risques de retournement du box, le déchargement de celui-ci doit se faire progressivement d'un côté du box puis de l'autre, en conservant autant que possible le centre de gravité.

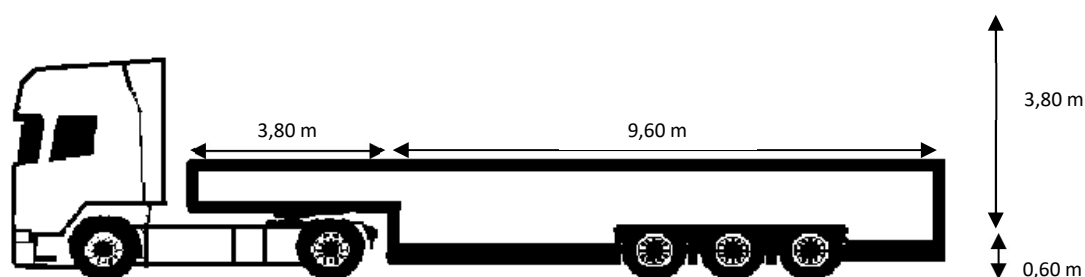
- Boxes à levage à plein :

Ces boxes disposent sur leur partie haute de 2 crochets de levage dimensionnés pour lever la box chargée.

➔ Livraison en Rack :

Par camion avec remorque auto-déchargeuse ou Faymonville : Charge maxi 22,5 Tonnes

Hauteur max disponible : 3,80 m



Le rack a une largeur de 1,5m et une longueur de 9,60m pour un poids à vide d'environ 2,2 Tonnes.

Ce type d'ETS présente comme atout majeur la non-utilisation de la grue lors du déchargement et donc un gain au niveau du temps d'occupation de celle-ci.

Le déchargement se fait en autonomie par le camionneur avec seulement les pieds de stabilisation à déployer en cours de manœuvre. Il faut commencer le déchargement de la Faymonville d'environ 1 mètre puis déployer les pieds stabilisateurs qui assurent le contreventement de l'ETS, avant de poursuivre le déchargement complet.

Les racks sont équipés d'une échelle sur une de leur extrémité permettant le maintien vertical des panneaux par serrage de pâles de maintien.

On peut faire les combinaisons suivantes :

>2 racks de 4.50m ou 1 rack de 6.50m ou 1rack de 9.00m

Chaque rack est également équipé de crochets de levage à vide uniquement : ces crochets ne doivent en aucun cas être utilisés pour le lever le rack avec des panneaux à l'intérieur.

Zone de livraison et stockage :

Pour les racks, la longueur nécessaire au déchargement est importante, il est nécessaire d'aménager une zone spécifique de dimensions minimales : Longueur de 27m et largeur de 3m. Pour les boxes une zone de 10m x 3m est suffisante.

La portance du sol de la plateforme de déchargement doit être de classe FP2 minimum selon le classement SETRA.

La plateforme doit avoir un devers transversal de maximum 5% pour assurer la stabilité du rack.

Il est nécessaire que cette zone soit étudiée et clairement définie en amont de la livraison des panneaux TimberRoc. Il faut que le sol soit stable et horizontal pour pouvoir supporter la charge du container de déchargement.

D'une façon générale, les industriels licenciés de la technologie TimberRoc sont fabricant de prémurs MCI. Les exigences détaillées dans le guide INRS ED 6118 sur les murs à coffrage intégrés (MCI) utilisés par ces industriels s'appliquent également pour les panneaux TimberRoc.

10. Annexe n°10 : Dessins techniques du Dossier Technique

Figure A01 – Débord assise des murs TimberRoc

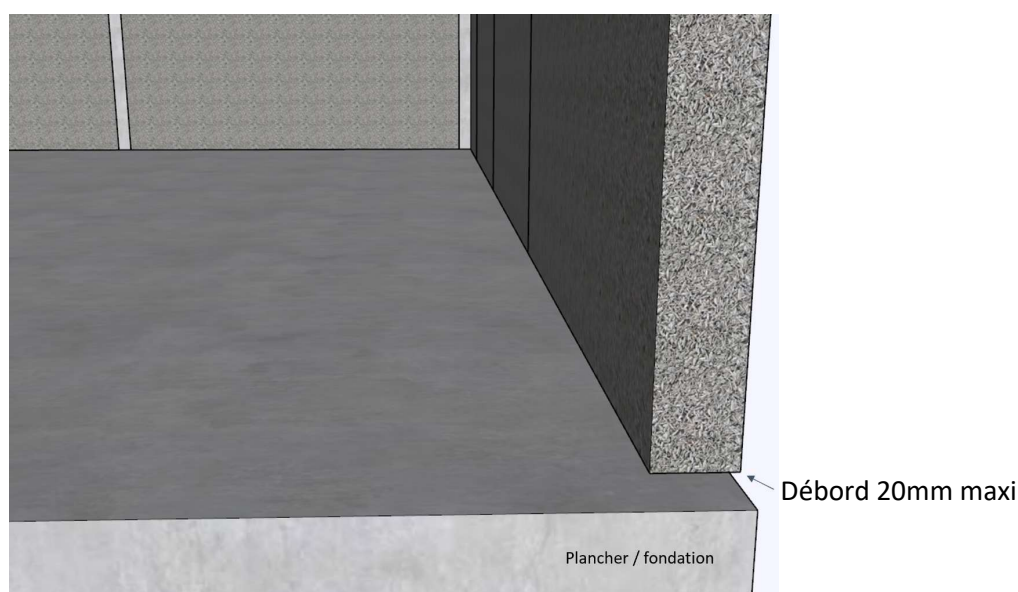


Figure A02 : Disposition anti-capillarité – solution 1 avec chaînage béton armé si soubassement en maçonnerie

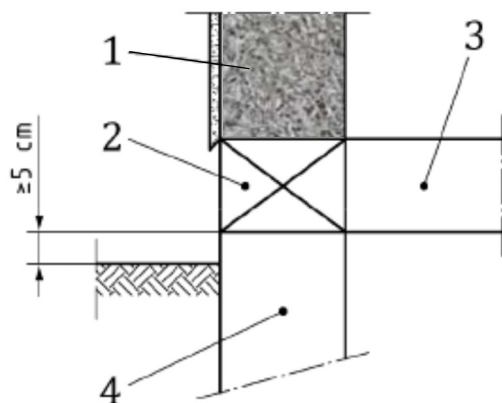


Figure A02

Légende :

1. Mur béton de bois CS2 en élévation
2. Chaînage en béton armé
3. Plancher ou dallage
4. Soubassement en maçonnerie de blocs

Figure A03 : Disposition anti-capillarité – solution 2 avec chappe de mortier hydrofuge si soubassement en maçonnerie

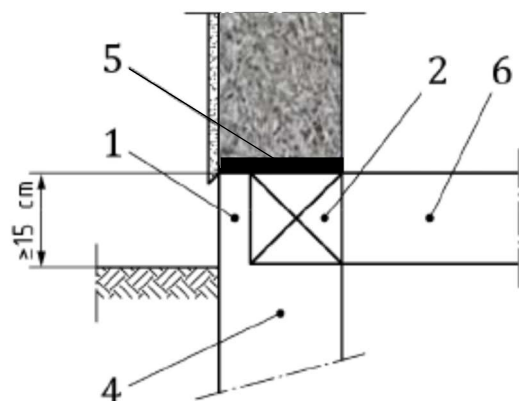


Figure A03

Légende :

1. Habillage en maçonnerie (planelle)
2. Chaînage en béton armé
3. Plancher ou dallage
4. Soubassement en maçonnerie de blocs
5. Coupure de capillarité

Figure A04 : Disposition anti-capillarité – solution 2 avec soubassement en béton armé

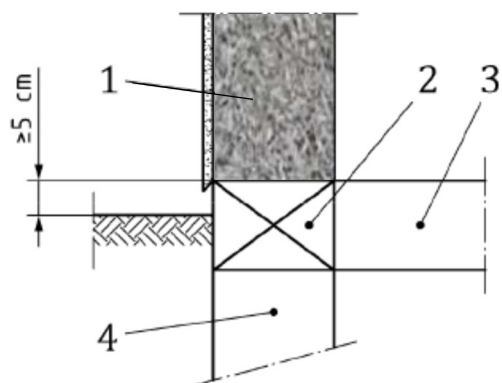
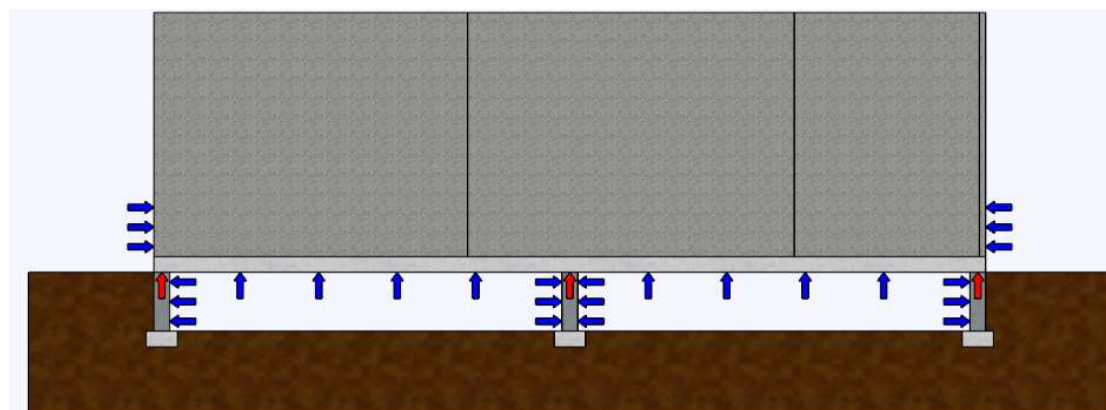


Figure A04

Légende :

1. Mur CS2 béton de bois
2. Chaînage en béton armé
3. Plancher ou dallage
4. Soubassement en béton armé

Figure A05 : Protection contre les termites – schéma de principe avec parois contrôlables



-  Surfaces contrôlables
 Cheminement potentiel de termite bloqué

Figure A06 : Protection contre les termites – schéma de principe avec barrière continue

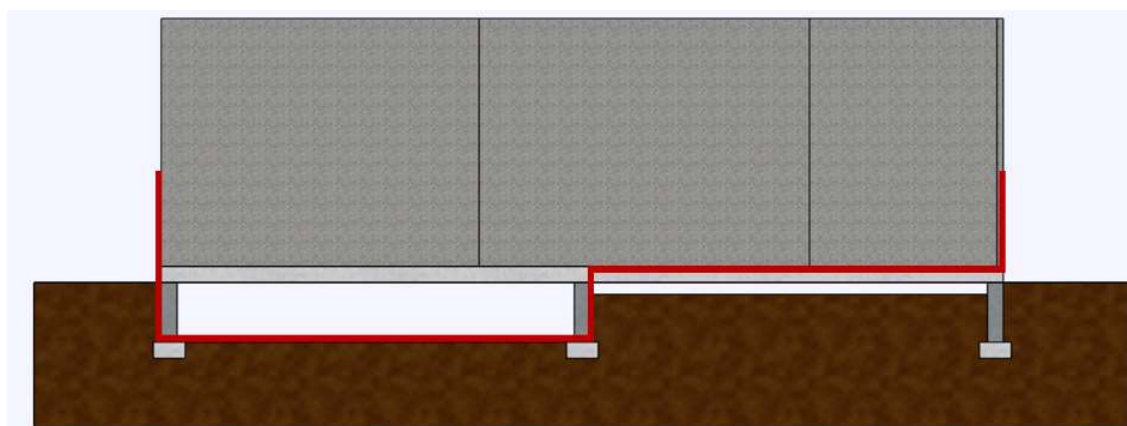


Figure A07-1 : Types de chargement appliqués sur les murs en panneaux TimberRoc

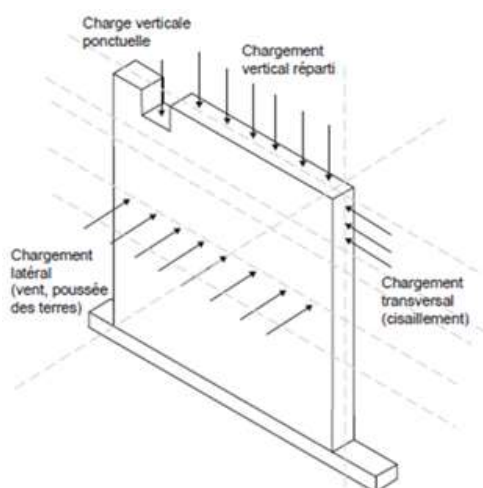


Figure A07-2 : Relation contrainte-déformation du remplissage – diagramme rectangle

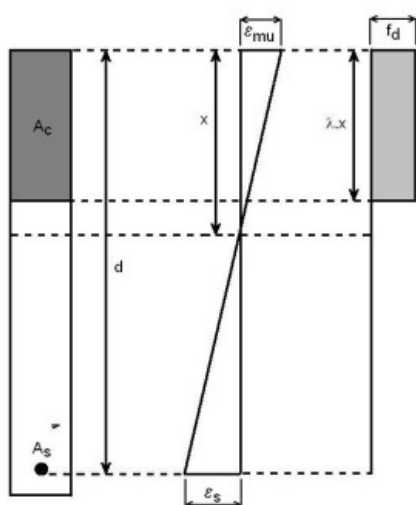


Figure A08 : Vue de principe en coupe d'un chaînage horizontal :
Panneau de 24 cm d'épaisseur avec un plancher d'épaisseur 25 cm – chaînage régnant sur 2/3 de l'épaisseur du mur.



Figure A09 : Vue de principe en coupe d'un chaînage vertical Principal

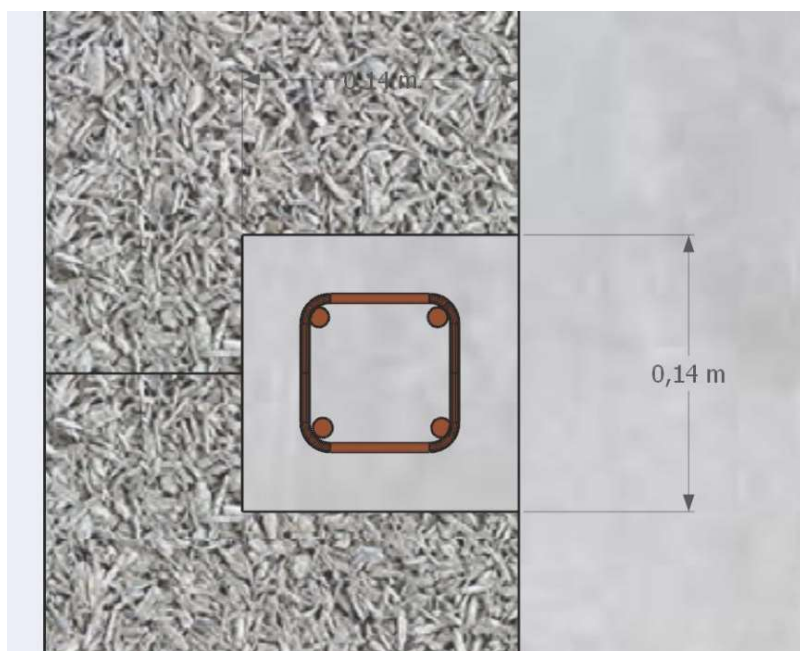


Figure A10 : Vue de principe des armatures de chaînages verticaux et horizontaux

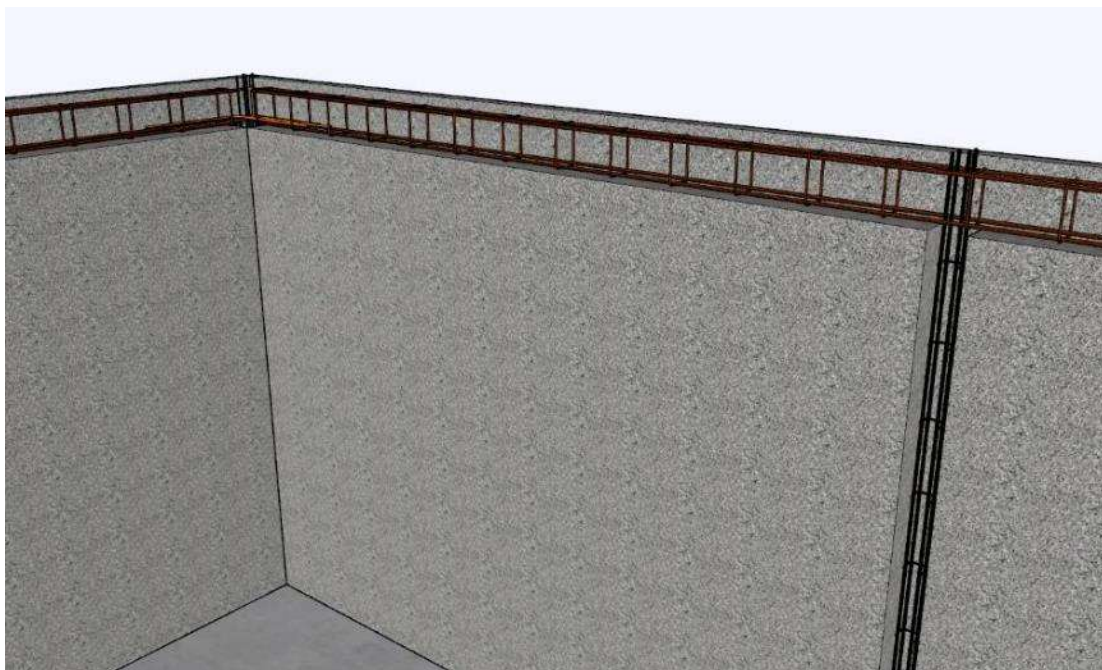
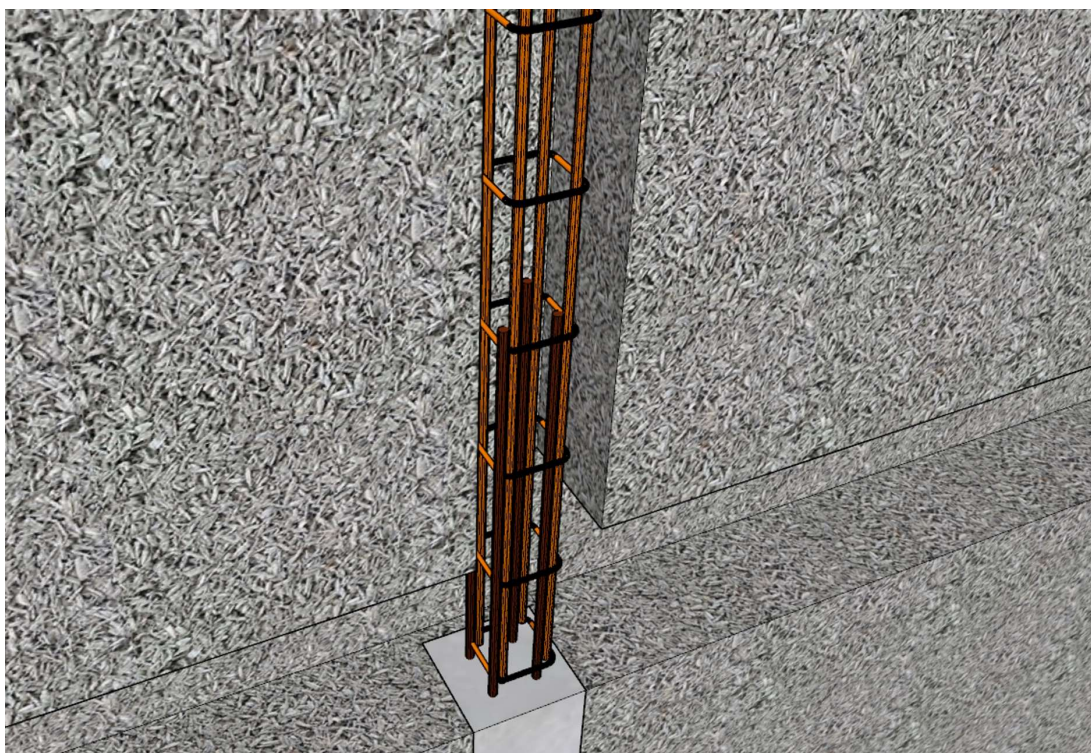


Figure A11 : Continuité des armatures de chaînages verticaux



Recouvrement : 60 $\varnothing$ en zone sismique et 50 $\varnothing$ en zone non sismique

Figure A12 : Continuité des armatures de chaînages verticaux en angle – vue perspective



Figure A13 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U - angle

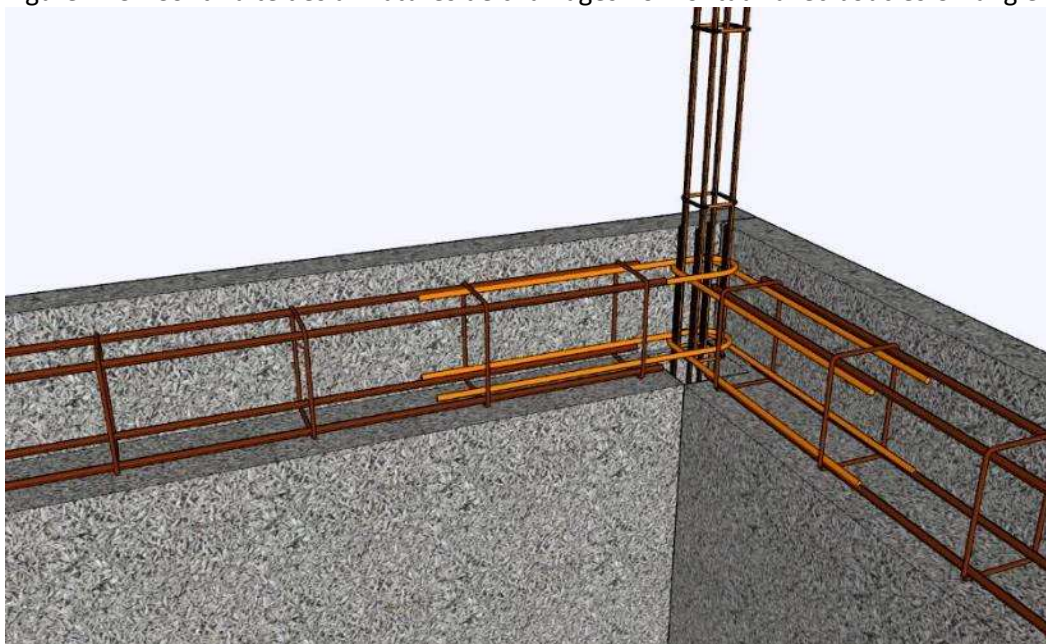


Figure A14 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U – Liaison refend



Figure A15 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec boucles U – Liaison refend / vue perspective

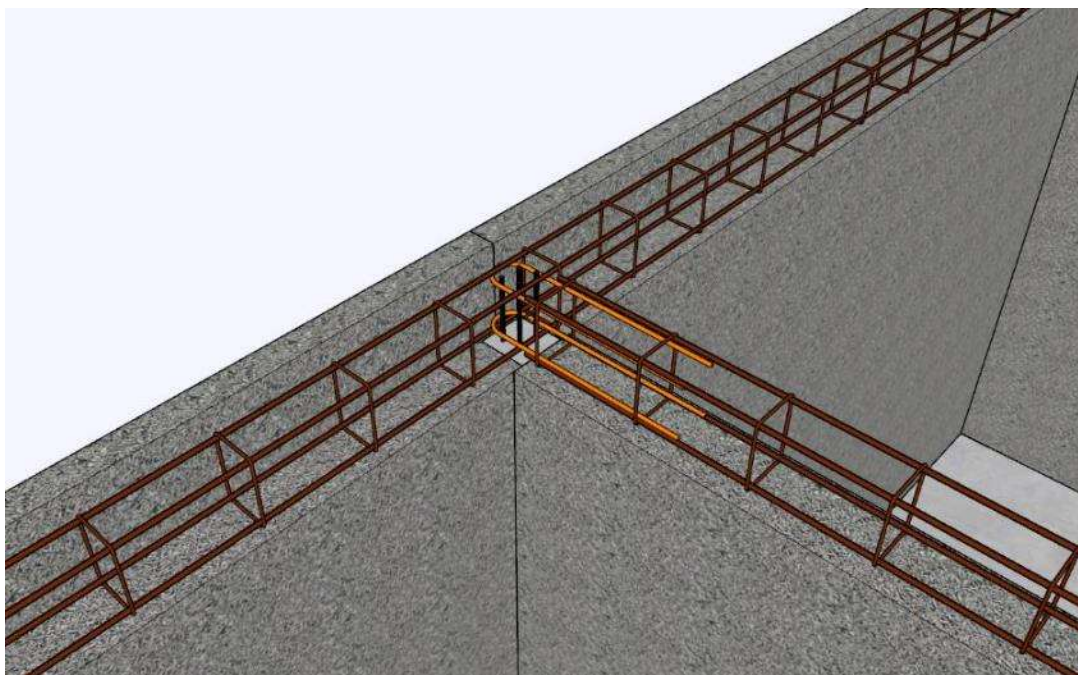


Figure A16 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres- angle

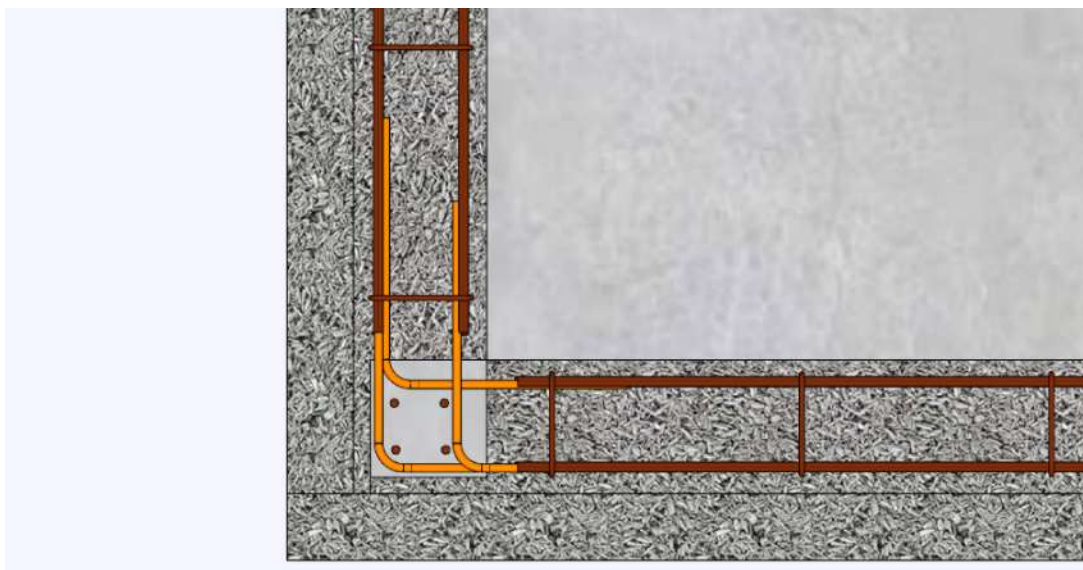


Figure A17 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres – Liaison refend

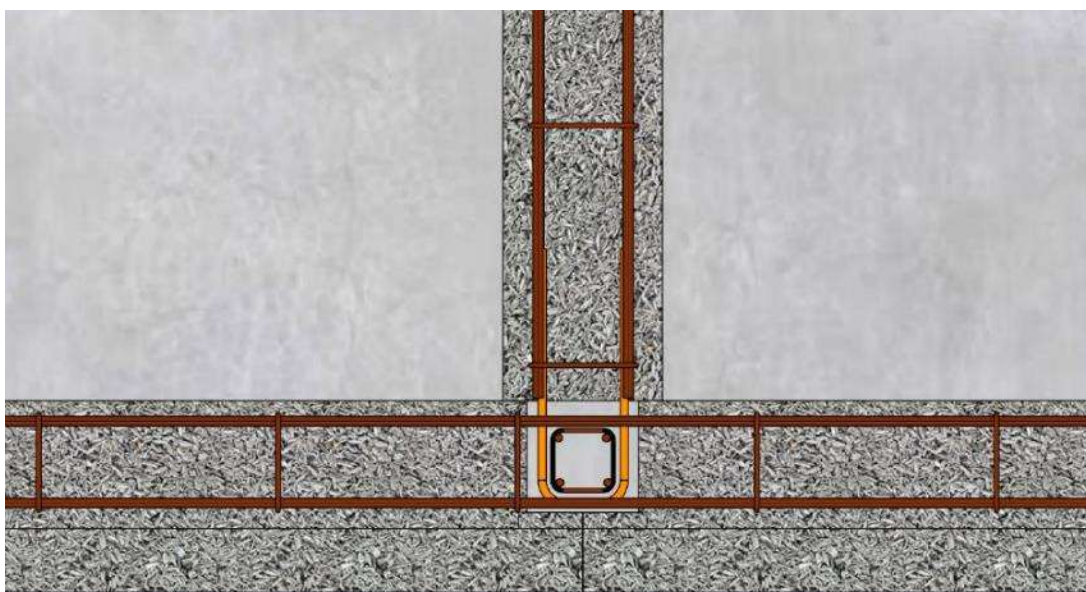


Figure A18 : Continuité des armatures de chaînages horizontaux avec équerres – Liaison refend / vue perspective

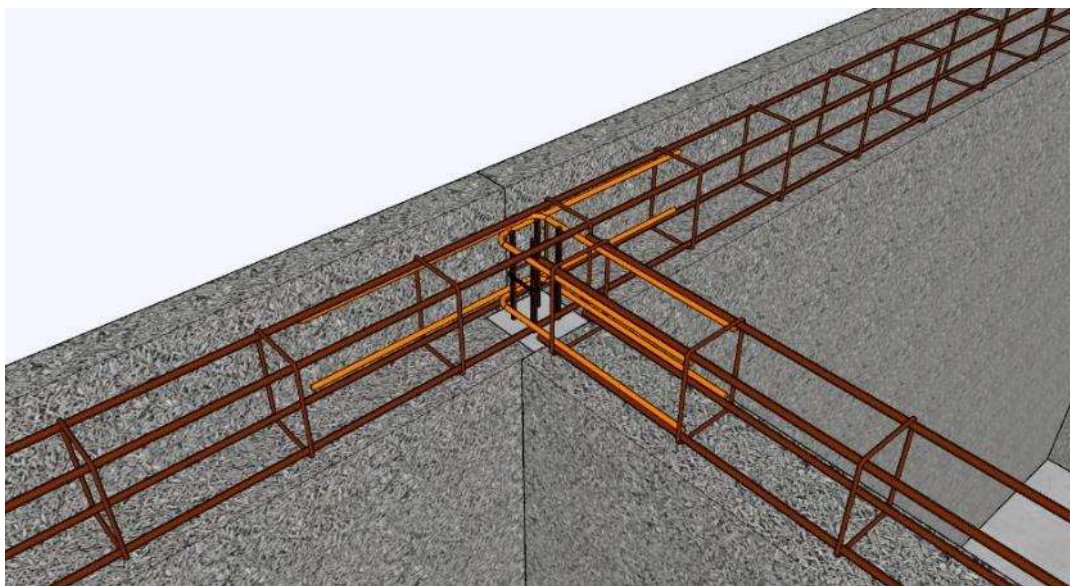


Figure A19 : Longueur minimum de retour d'angle en panneau CS2

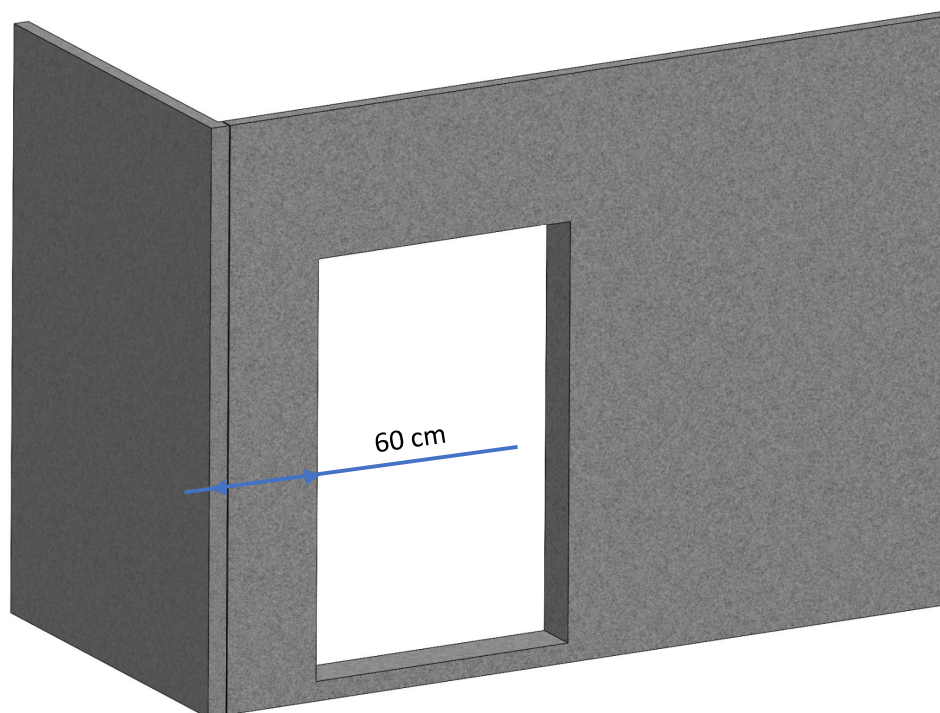


Figure A20 : Principes linteau dans un panneau CS2

→ 2 possibilités

A gauche : linteau indépendant

A droite : linteau en retombée de chaînage horizontal

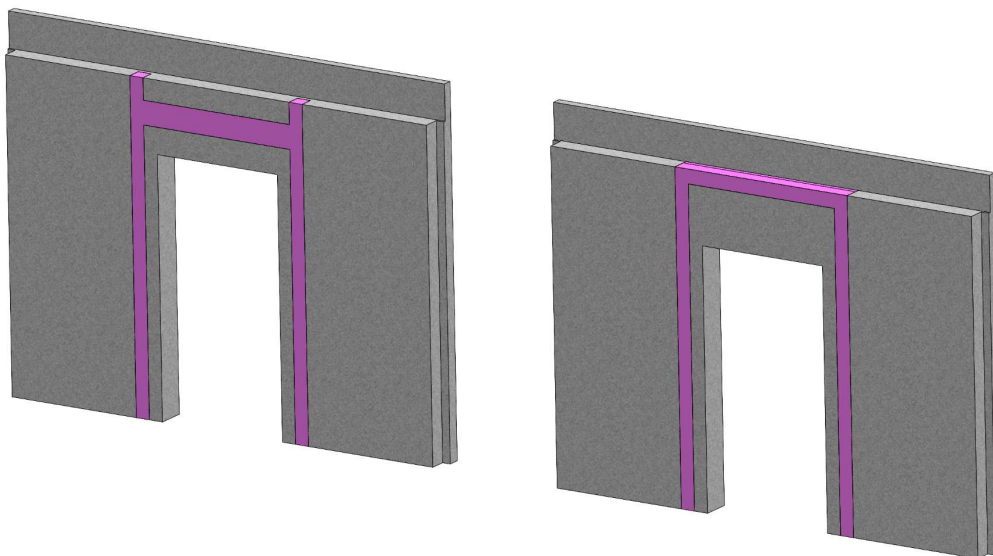
*(Armatures métalliques non représentées)*

Figure A21 : Visuel principe chaînage rampant

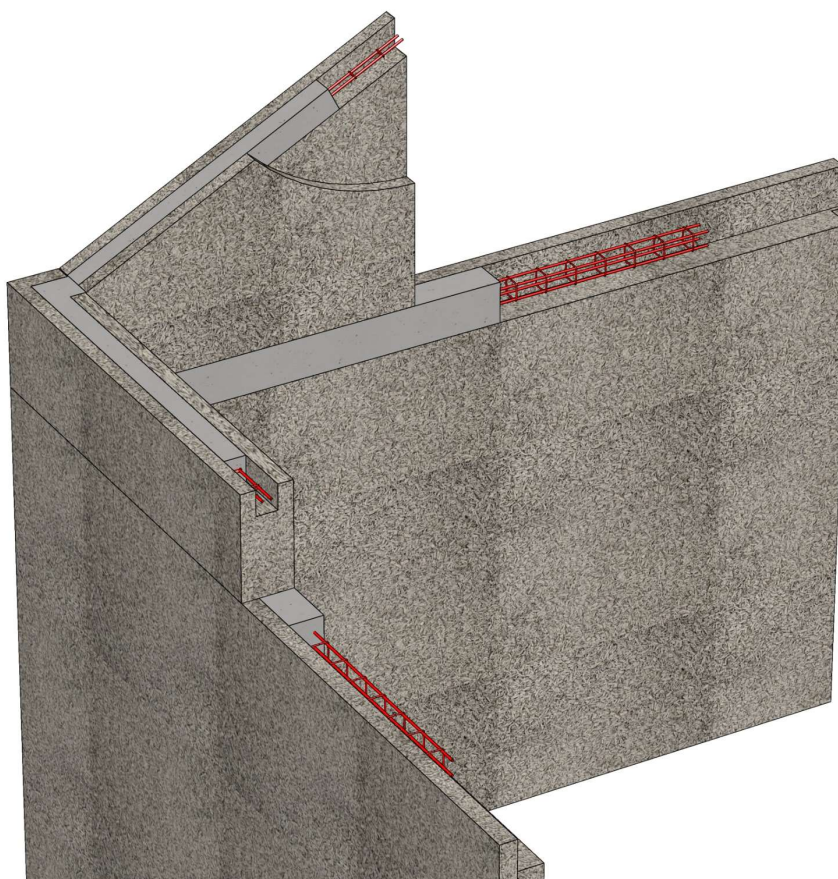
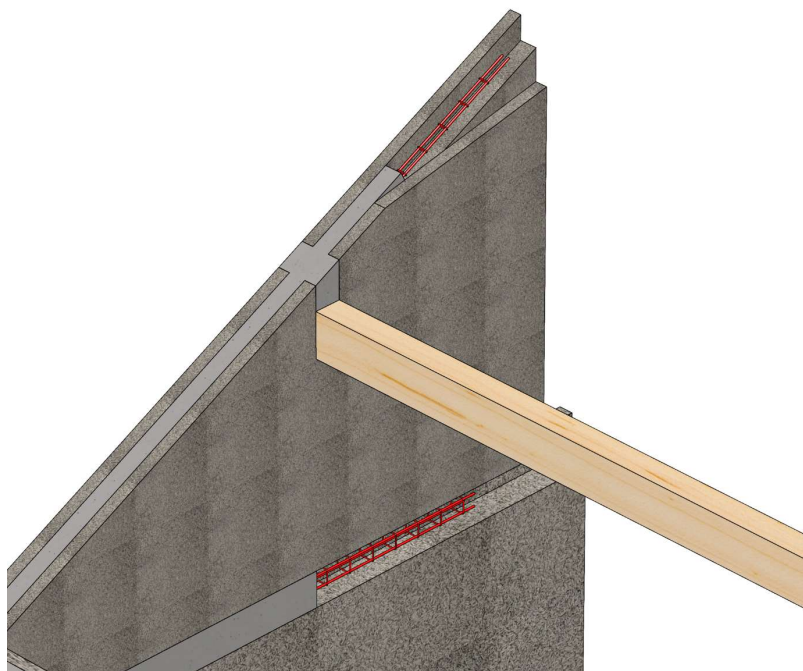
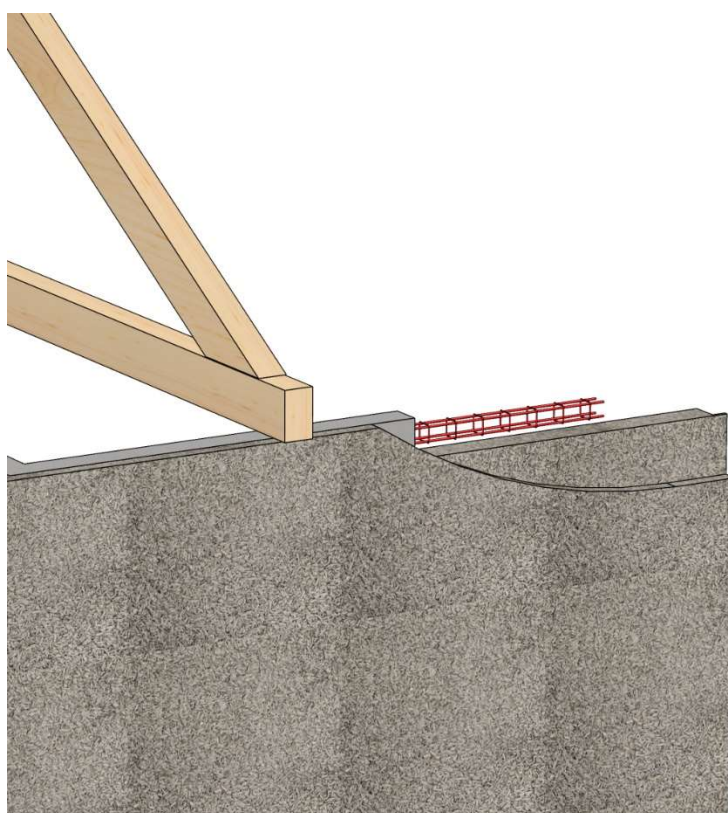


Figure A22 : Appui de pannes bois sur un panneau pignon



Les pannes doivent être fixées au mur pignon : tirefonds ou fixations métalliques de type équerres ou consoles.

Figure A23 : Appui d'une ferme de charpente sur une semelle de répartition (chaînage)



Semelle d'appui des fermes : chaînage de couronnement ou insert d'une semelle de largeur suffisante.

Les fermes doivent être fixées au chaînage de couronnement / semelle d'appui en béton armé par des fixations métalliques de type équerres ou consoles.

Figure A24-A : Acrotère bas coulé en place

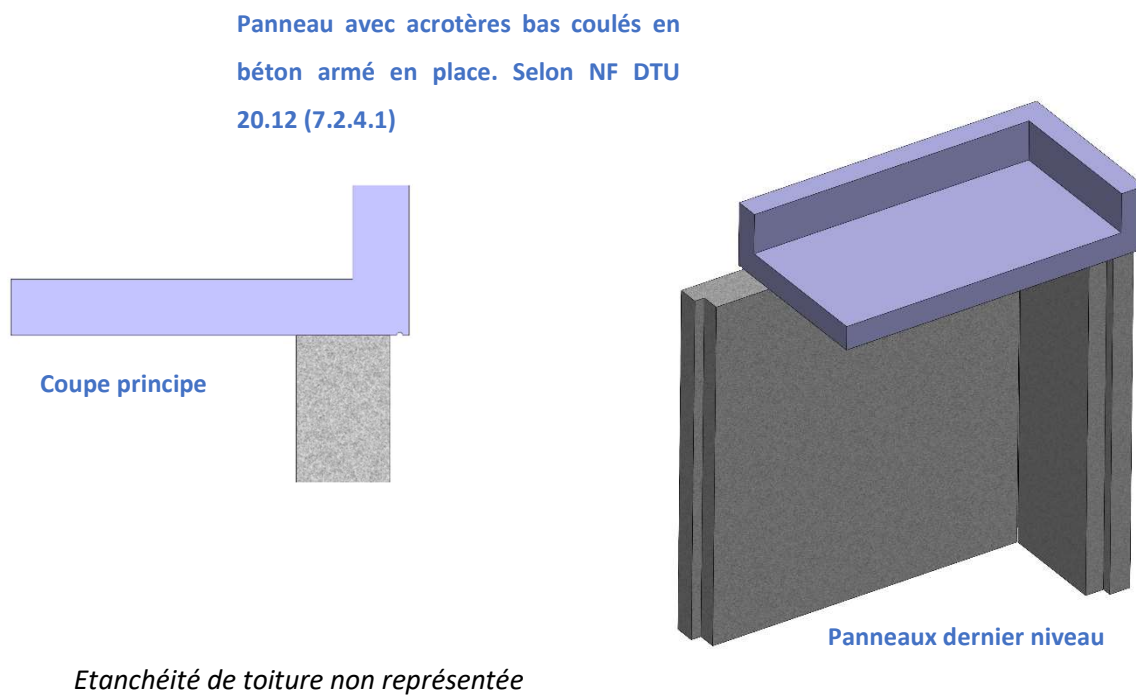


Figure A24-B : Acrotère bas intégré au panneau CS2

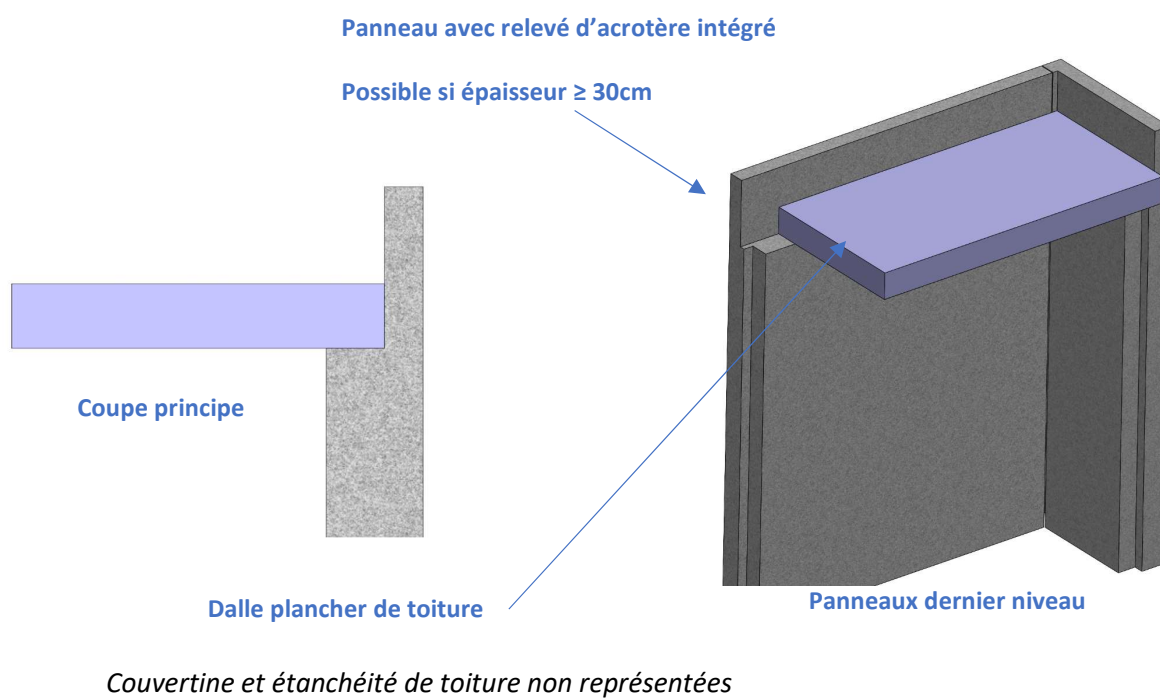
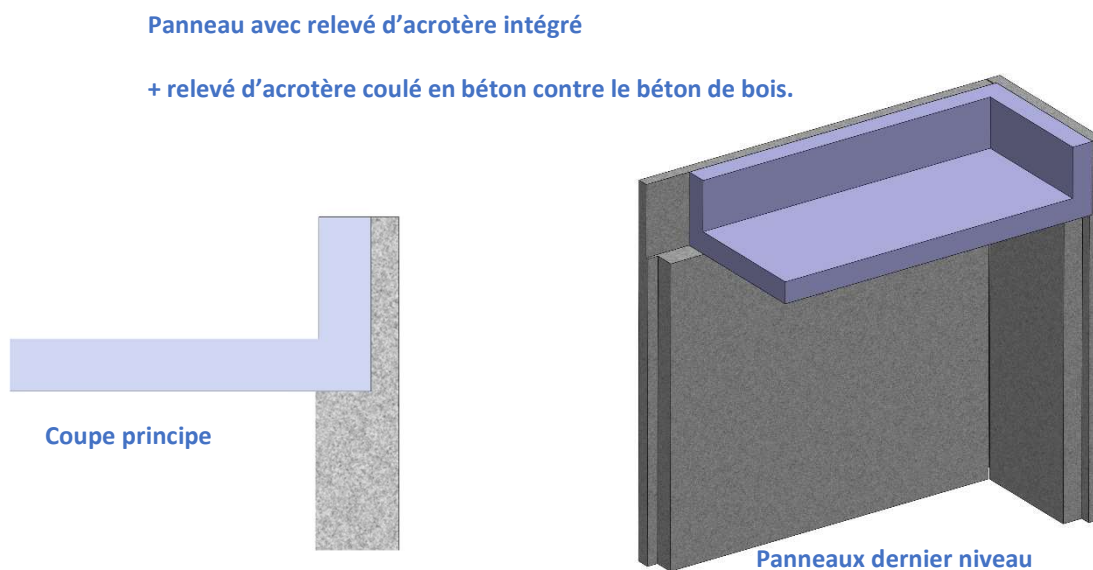
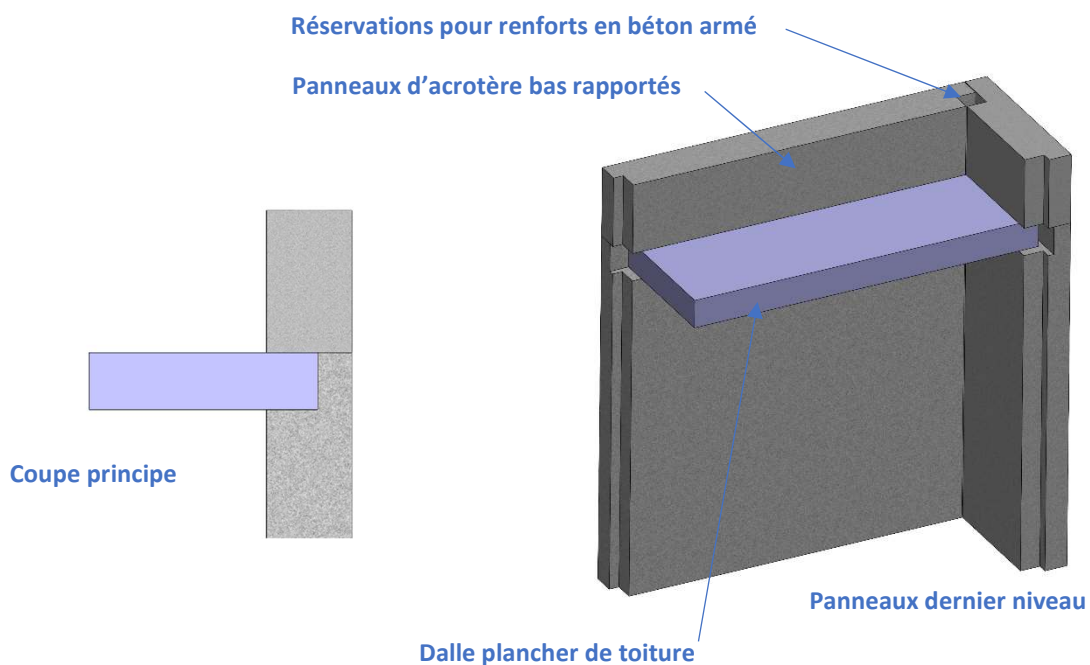


Figure A24-C : Acrotère bas mixte



Couvertine et étanchéité de toiture non représentées

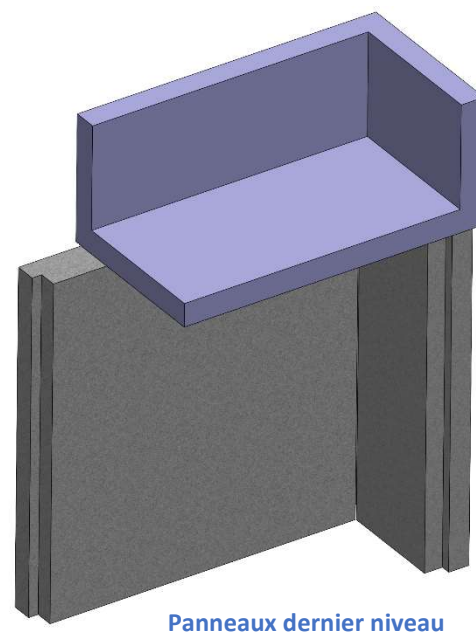
Figure A24-D : Acrotère bas rapporté sur dalle toiture



Couvertine et étanchéité de toiture non représentées

Figure A25-A : Acrotère haut coulé en place

Panneau avec acrotères haut coulés en
béton armé en place. Selon NF DTU
20.12 (7.2.4.1)

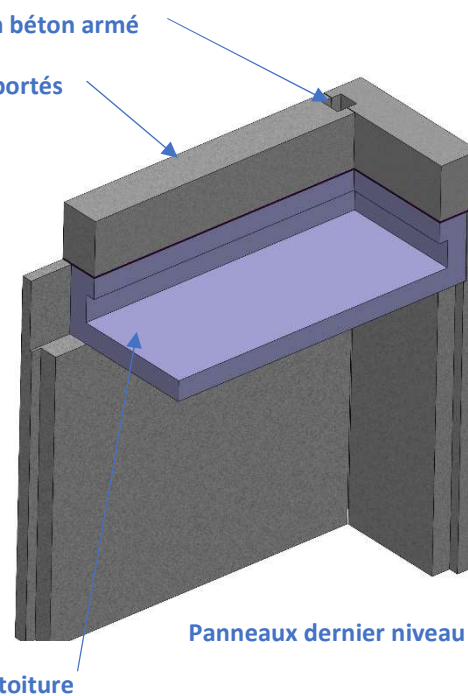
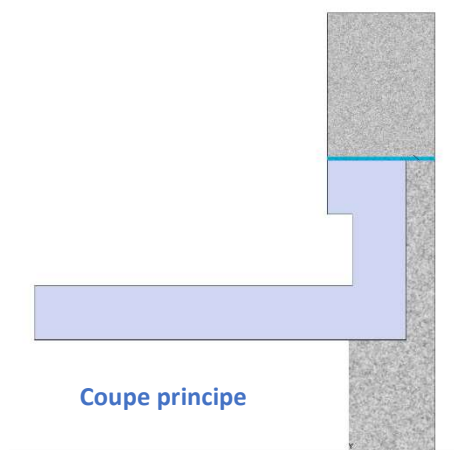


Etanchéité de toiture non représentée

Figure A25-B : Acrotère haut mixte

Réservations pour renforts en béton armé

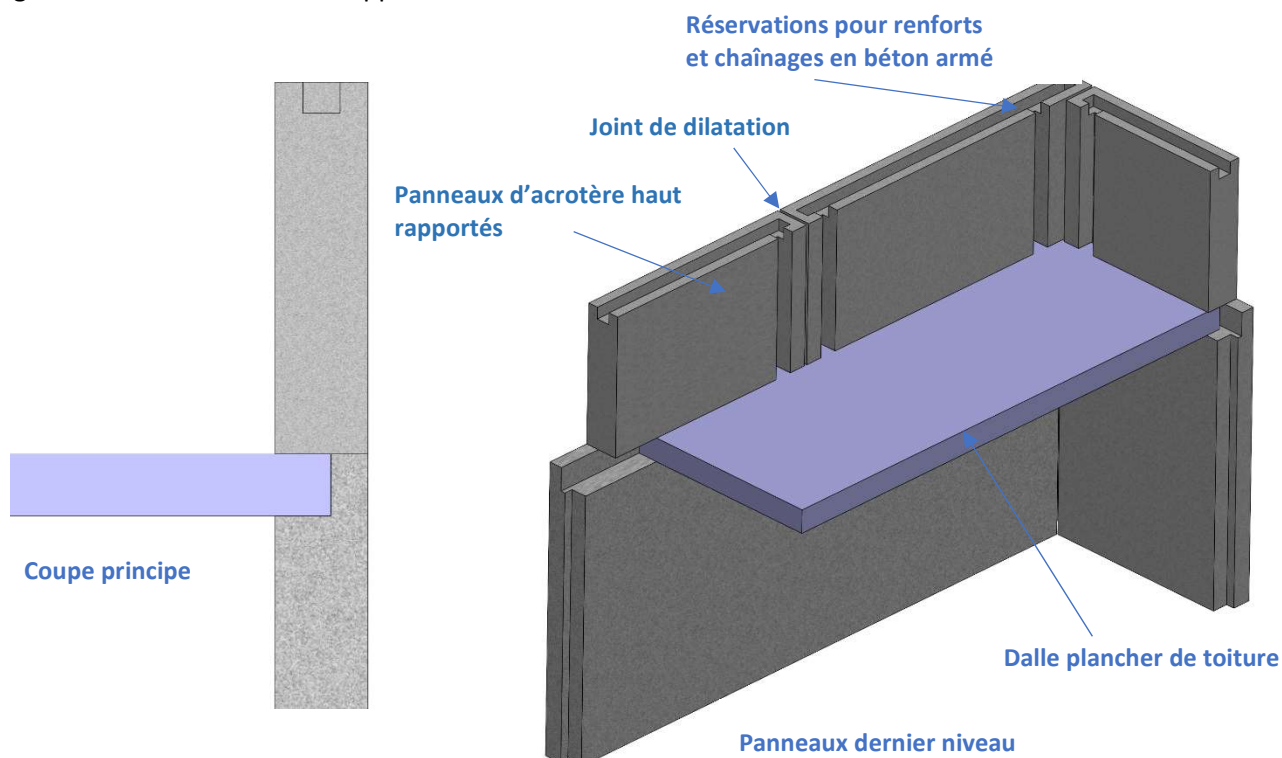
Panneaux d'acrotère bas rapportés



Dalle plancher de toiture

Couvertine et étanchéité de toiture non représentées

Figure A25-C : Acrotère haut rapporté sur dalle toiture



Couvertine et étanchéité de toiture non représentées

Figure A26 : Principe de pose garde-corps

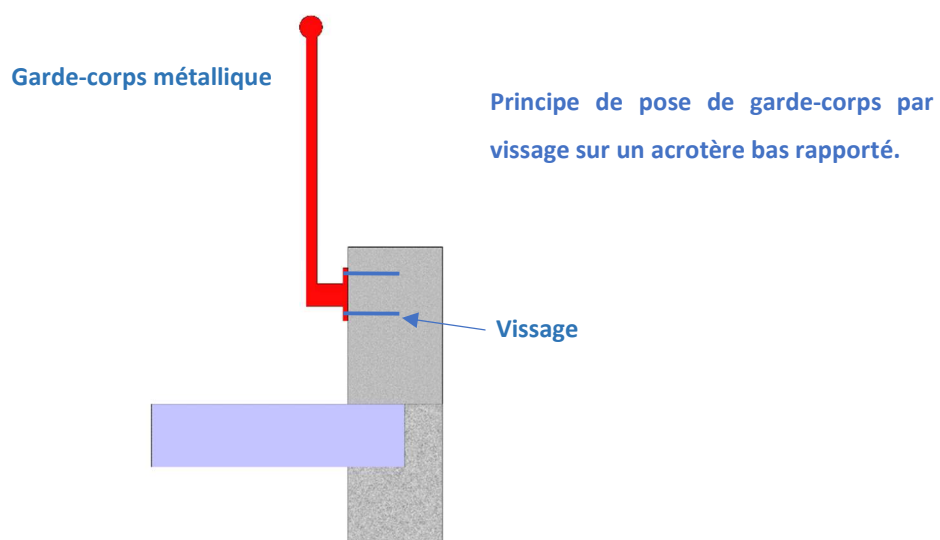


Figure A27 : Dispositions de principe des chaînages pour la configuration A, zones sismiques 1 et 2 – hors analyse de structure :



Figure A28 : Dispositions de principe des chaînages pour les configurations B et C, zones sismiques 3 et 4 – hors analyse de structure :

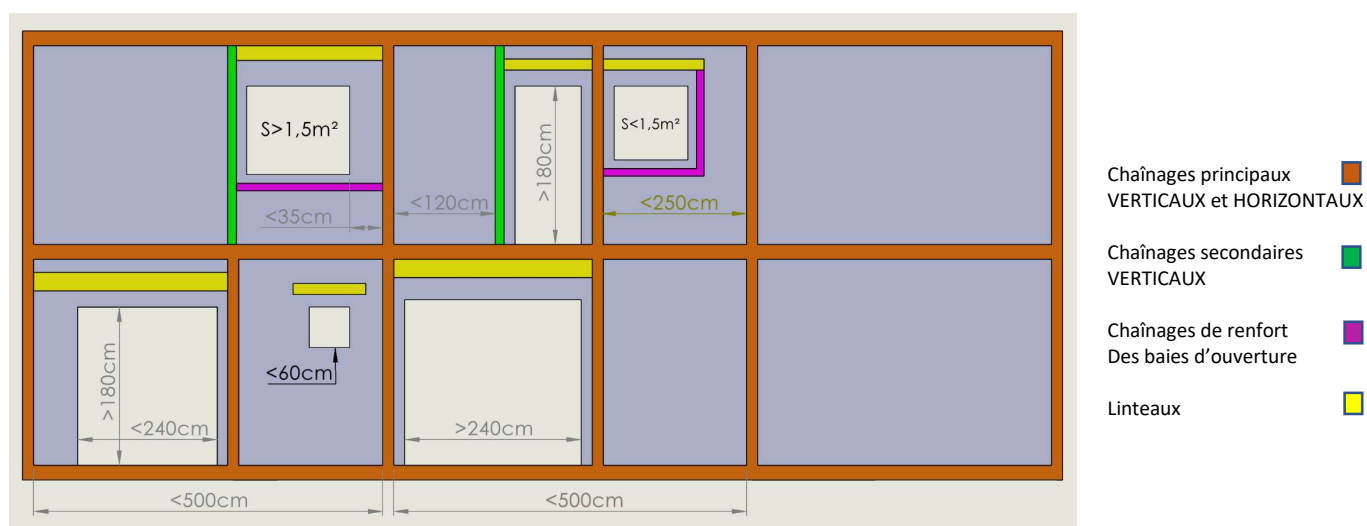
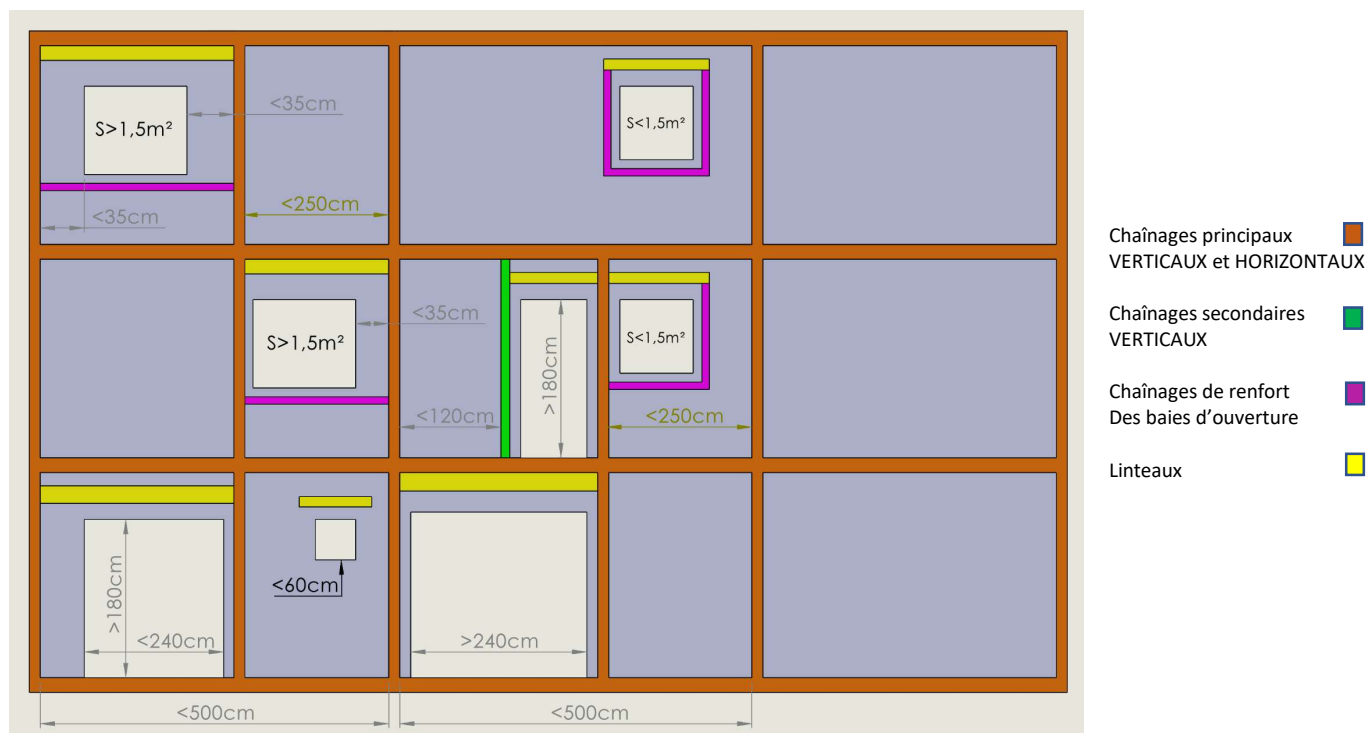


Figure A29 : Dispositions de principe des chaînages pour les configurations D, E et F – hors analyse de structure ou exigences particulières :



Rappel : il est recommandé d'avoir un « plombage » des ouvertures de chaque niveau.

Figure A30 : Exemples de saignées dans un panneau béton de bois TimberRoc

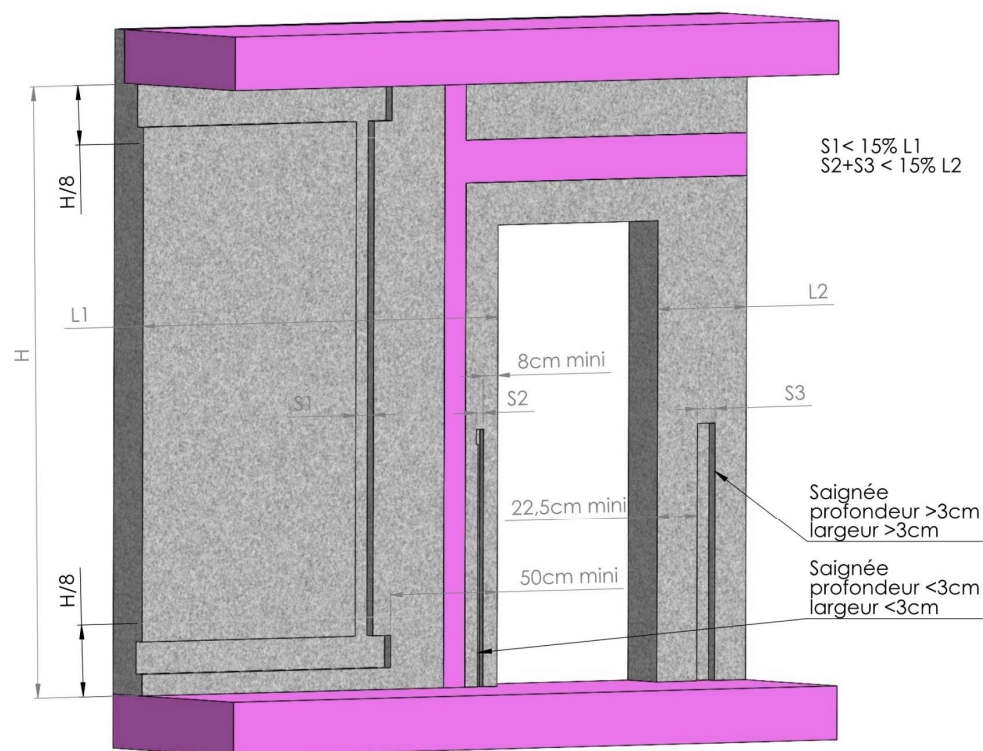
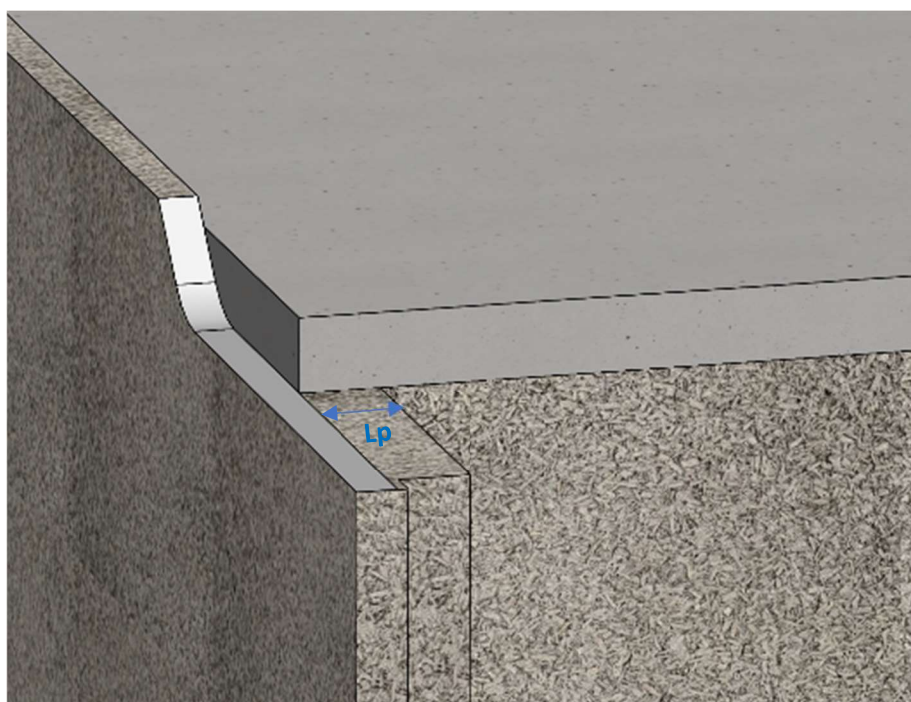


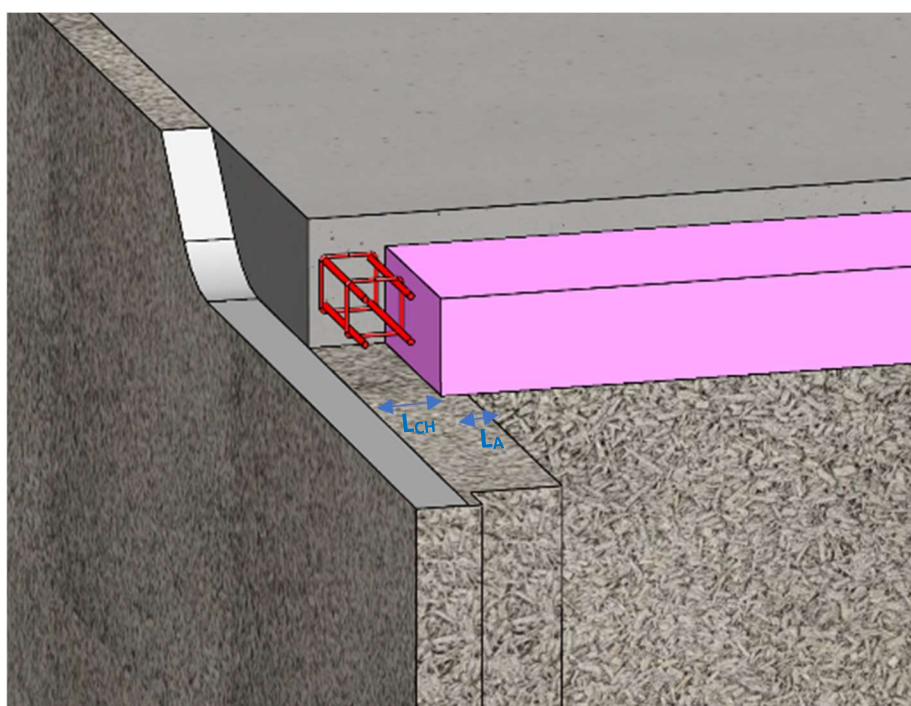
Figure A31 : Appui des planchers sur mur CS2 TimberRoc



$L_p = 2/3$ de l'épaisseur de la paroi pour les parois d'épaisseur < 30 cm

$L_p = 3/5$ de l'épaisseur de la paroi pour les parois d'épaisseur ≥ 30 cm

Figure A32 : Exemple d'appui de plancher préfabriqué



L_A : 2 cm minimum dans le sens porteur avec une file d'étalement à moins de 30 cm du bord intérieur du mur en phase provisoire.

Si pas d'étalement, L_A doit correspondre au minimum requis dans les textes DTU ou Avis Techniques des procédés de plancher considérés.

Figure A33 : Appuis de baies en béton

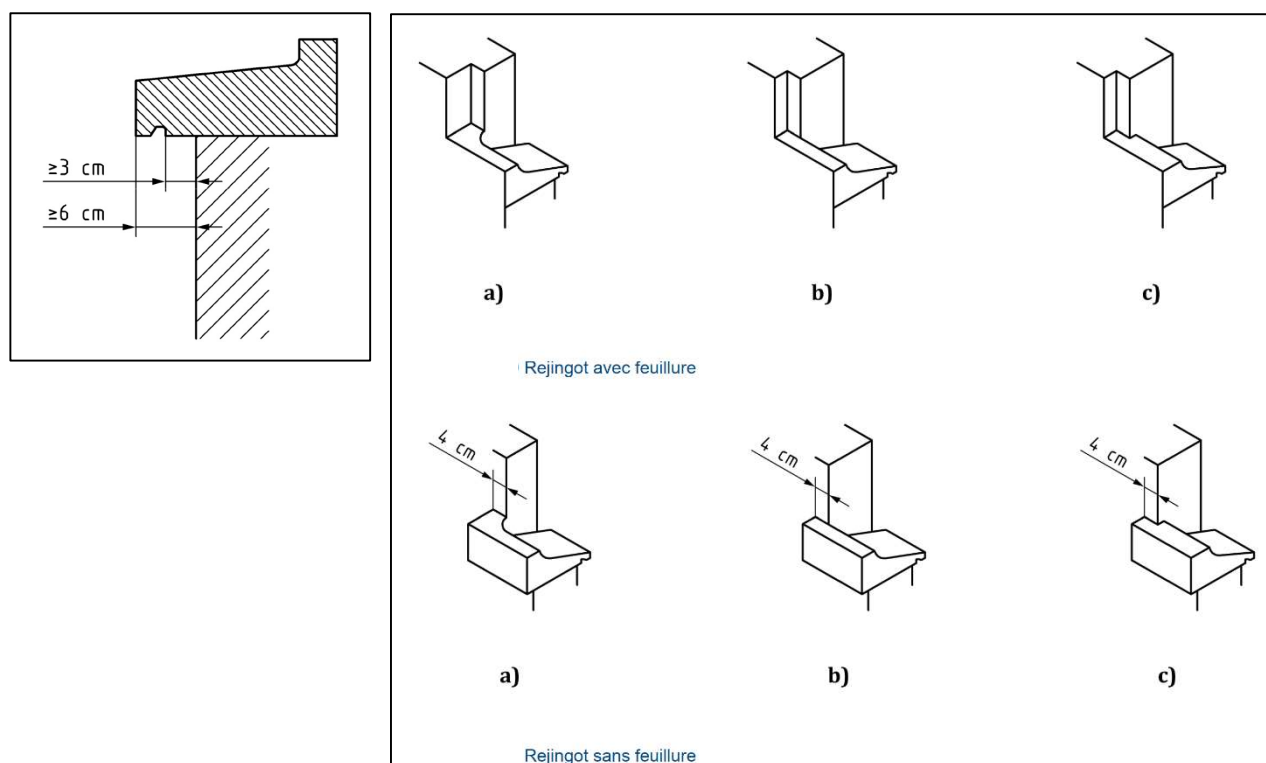


Figure A34 : Intégration des coffres et demi-coffres de volets roulants

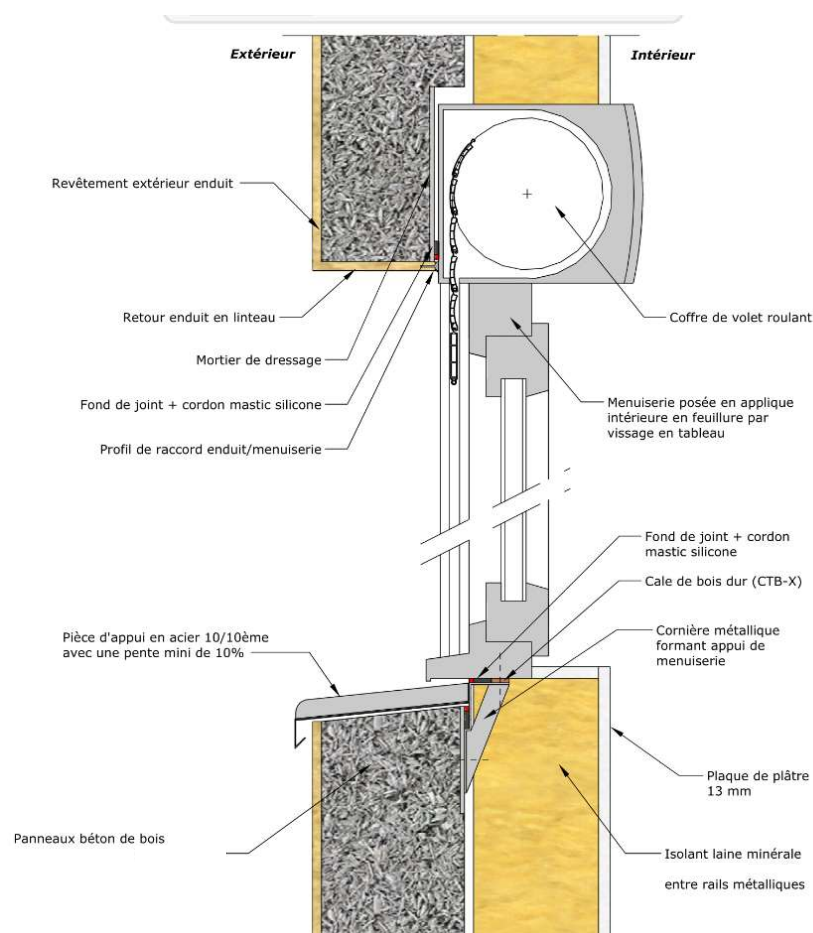
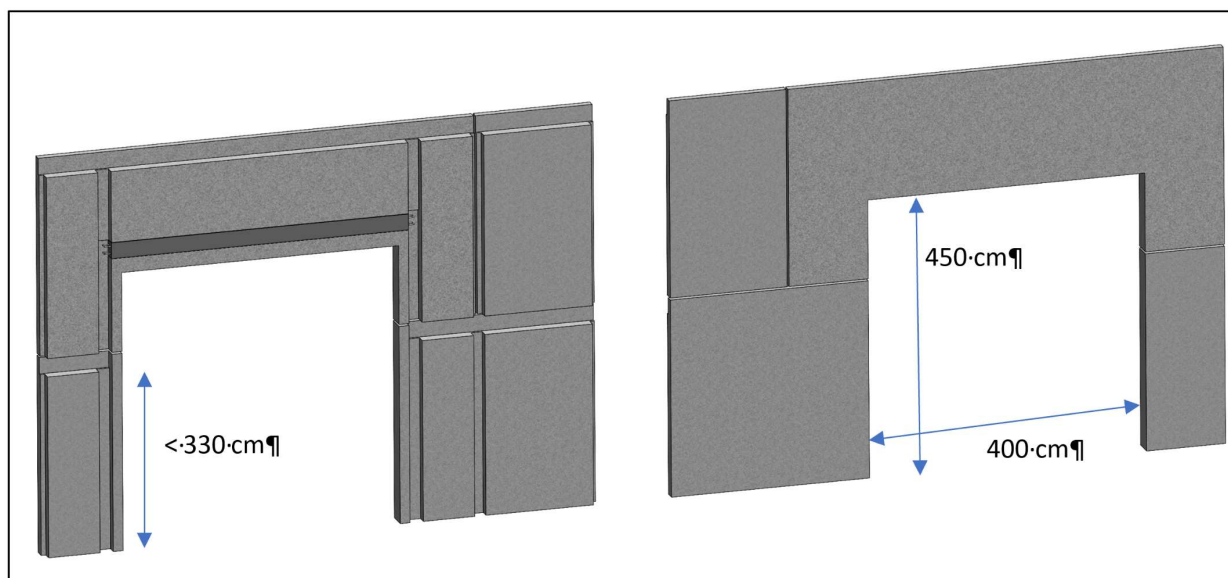


Figure A35 : Exemple de réalisation d'une porte sectionnelle de grandes dimensions

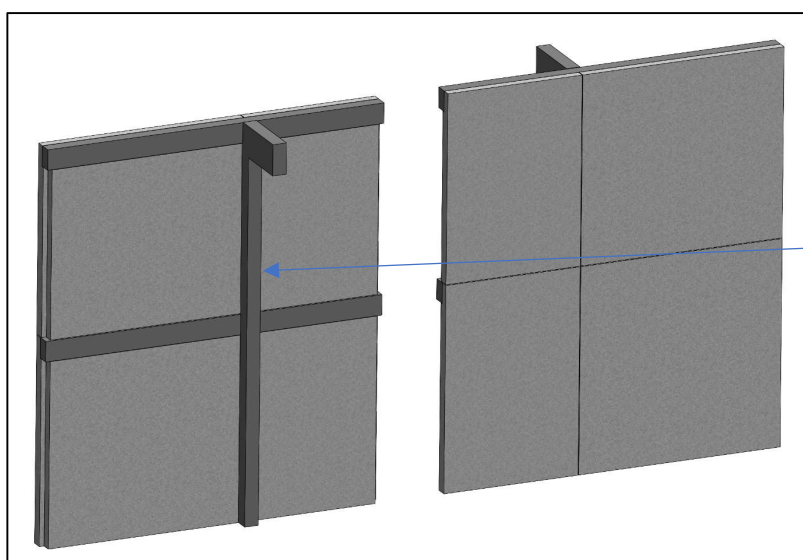
**Vue côté intérieur**

Vue des réservations aménagées dans les panneaux pour la réalisation des chaînages. Linteau en béton armé intégré dans le panneau poutre du niveau 2.

Vue côté extérieur

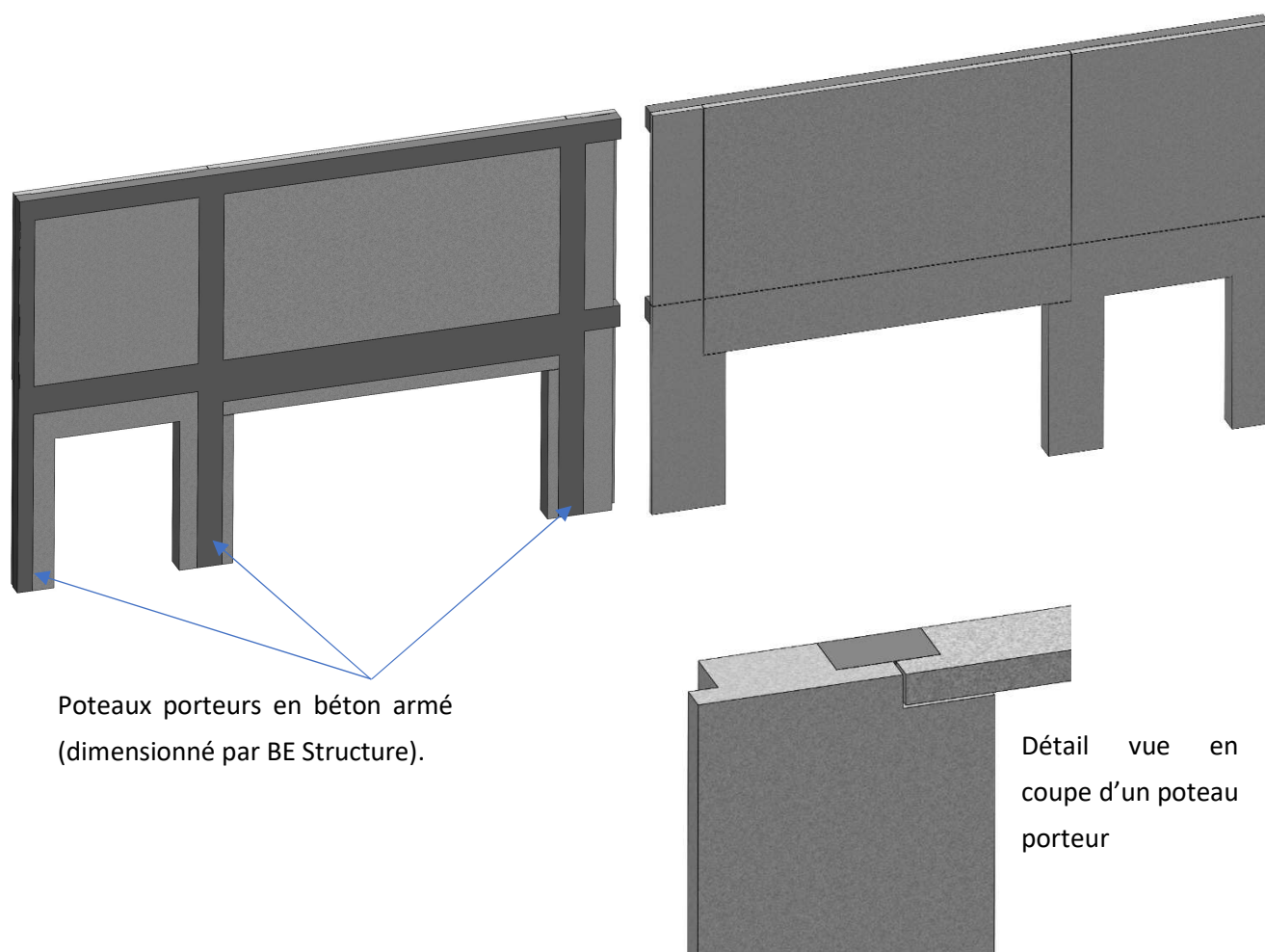
2 panneaux pour le niveau 1 et 2
2 panneaux pour le niveau 2 avec un panneau poutre.

Figure A 36-A : Réalisation d'un poteau porteur en saillie sur 2 niveaux de panneaux CS2

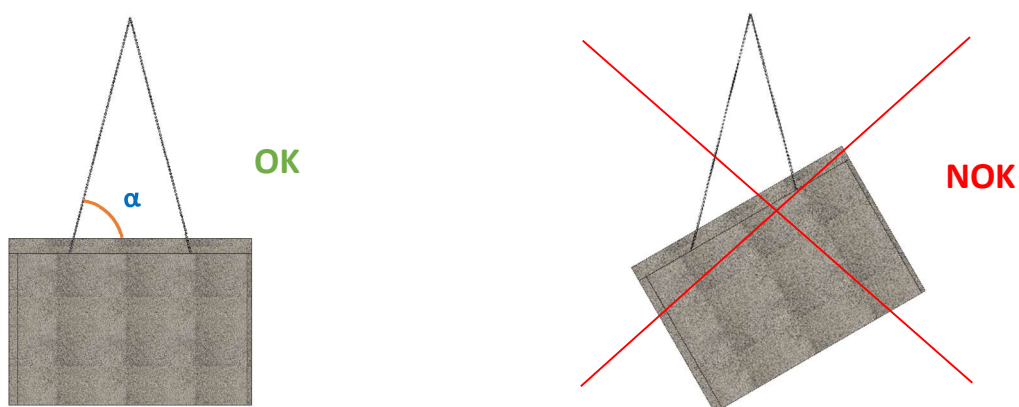


Poteau porteur en béton armé (dimensionné par BE Structure), supportant par exemple une poutre de structure.

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



Figures A 37 : Equilibrage du système de levage



L'élingage doit être équilibré. L'angle minimum d'élingage $\alpha = 60^\circ$ et les longueurs des élingues adaptées pour respecter l'angle minimum. Une longueur d'élingue L , correspondant à la longueur L du panneau, permet de garantir un angle minimum de 60° .

Figure A38 : Mise en place d'une protection collective par garde-corps

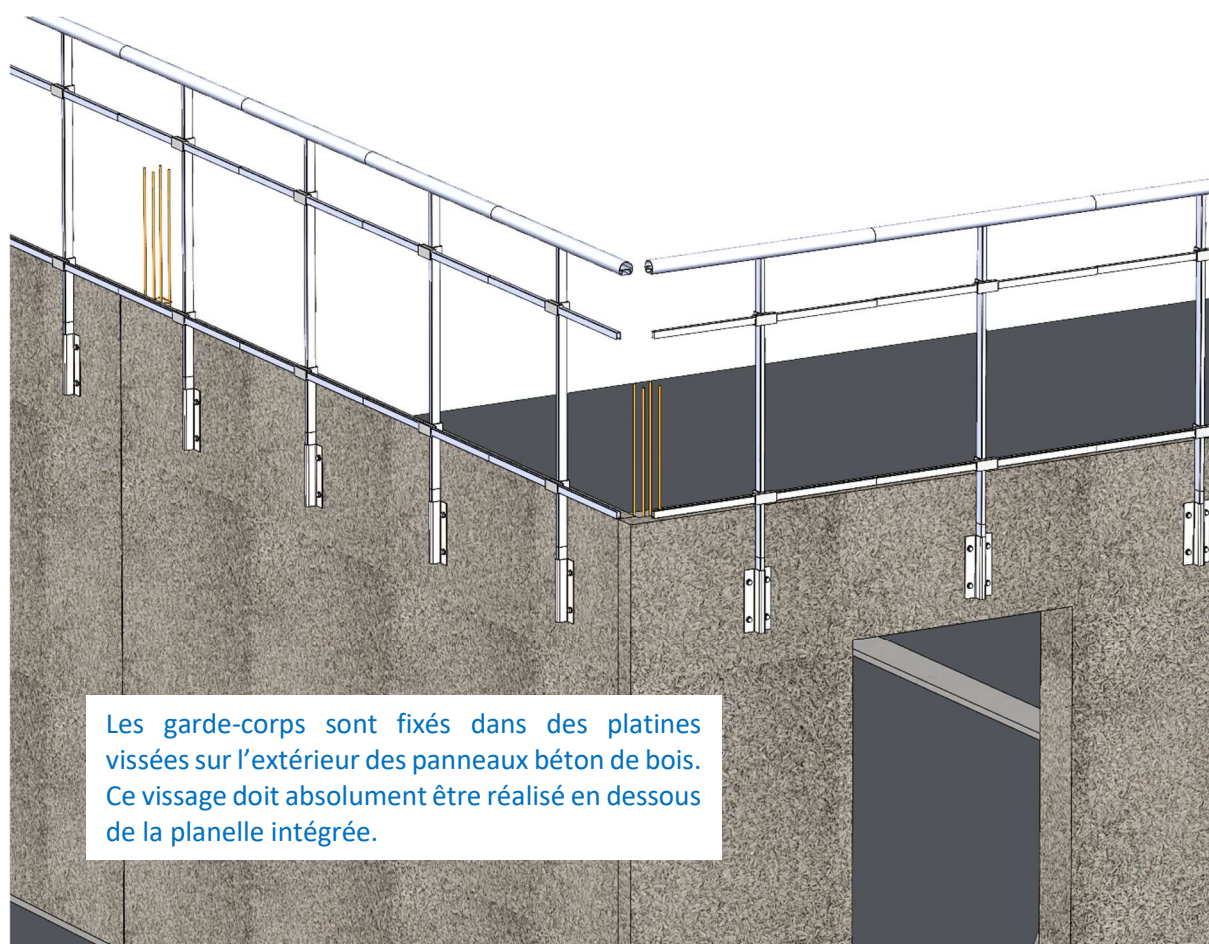
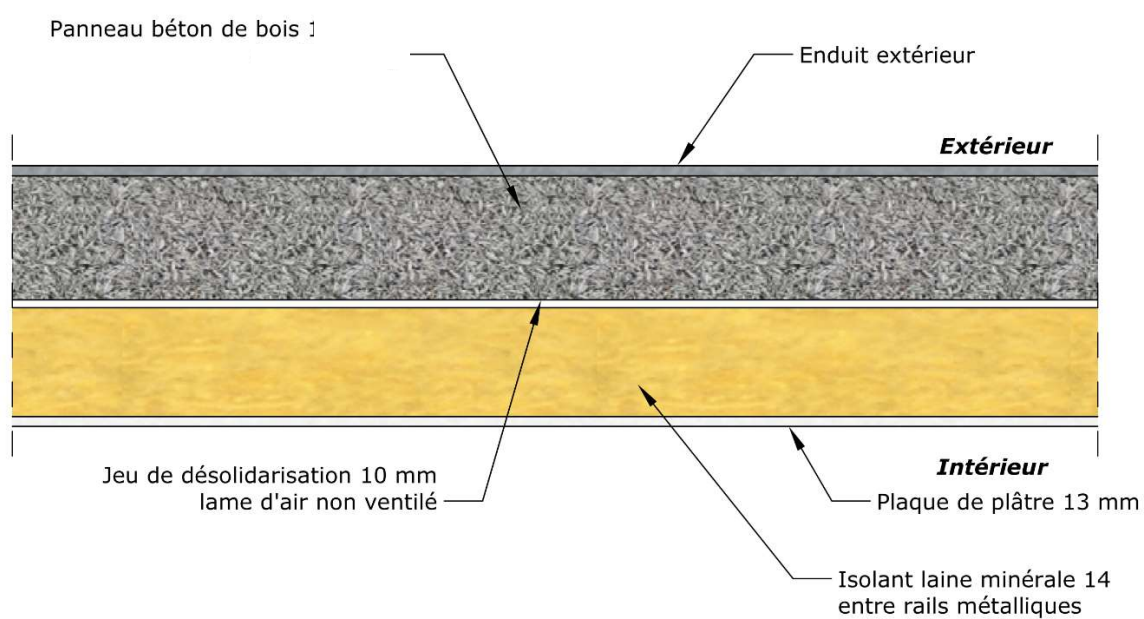
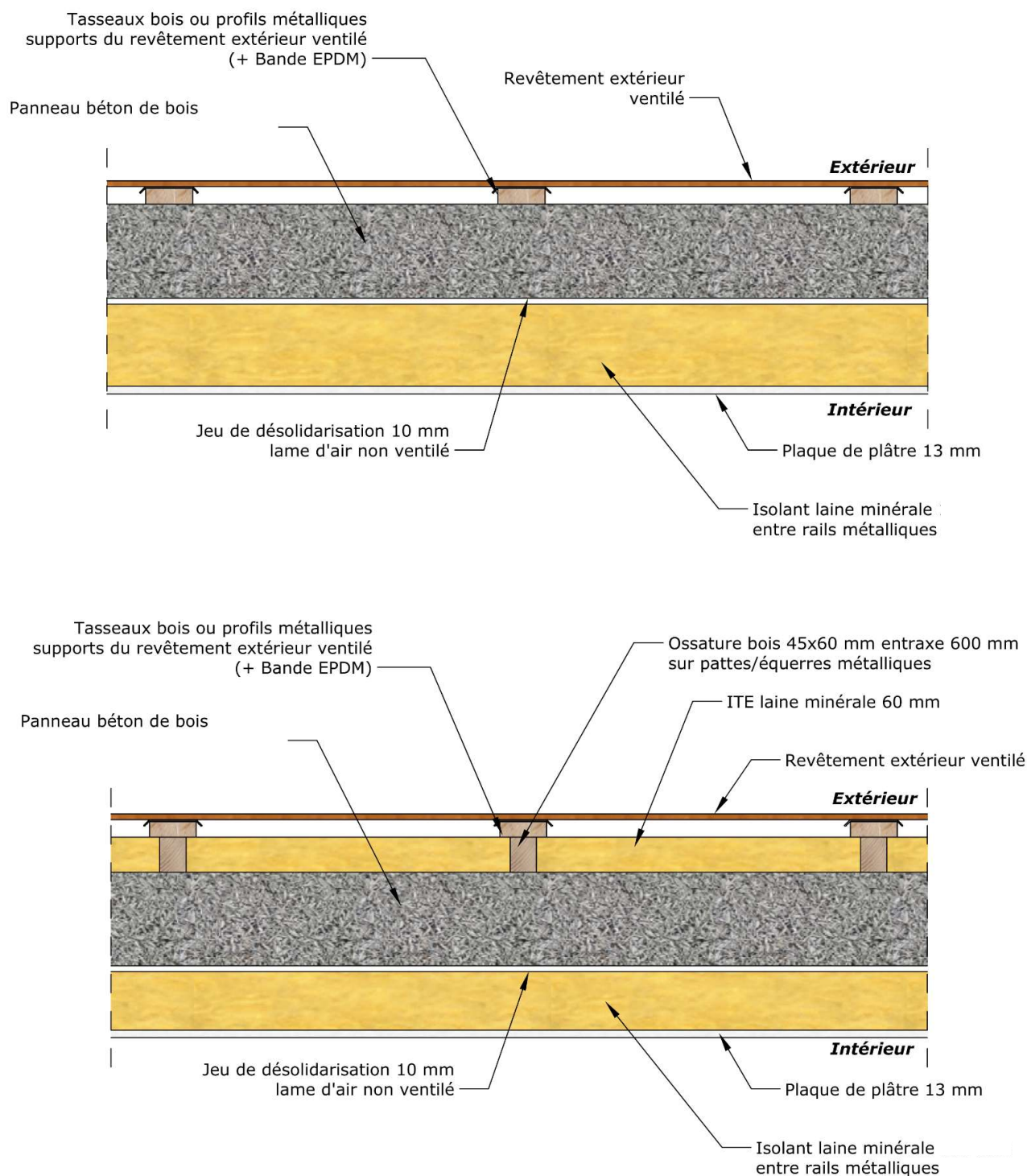


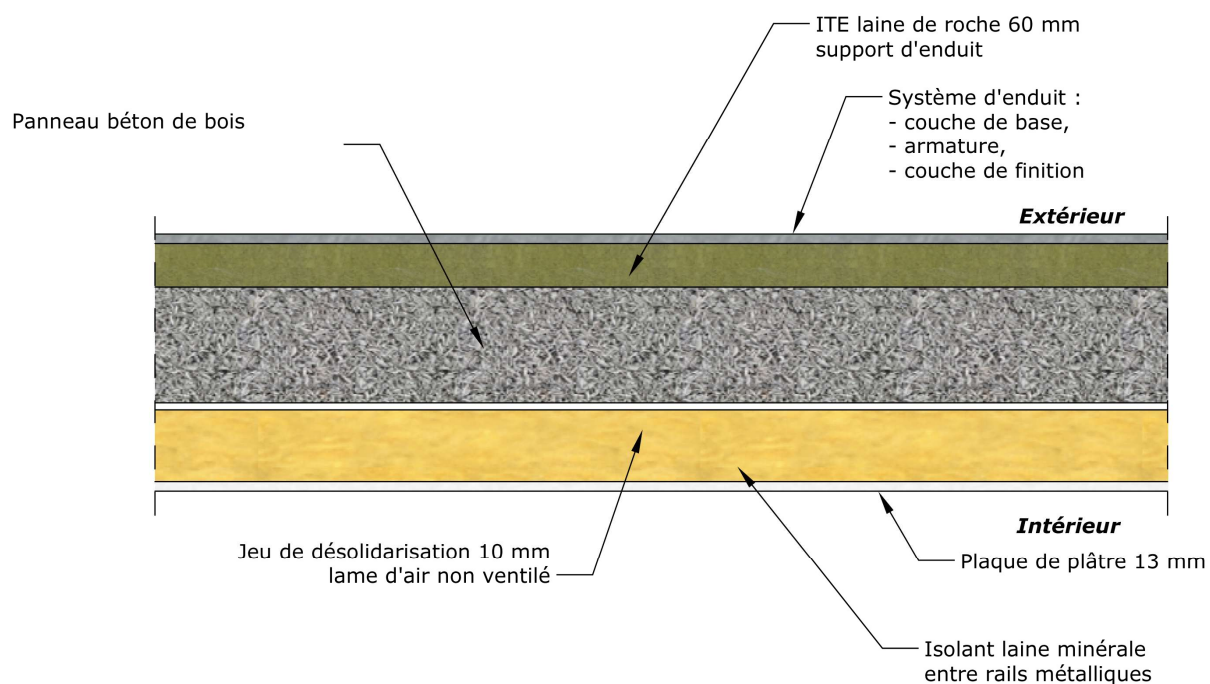
Figure A39 : Exemple partie courante Panneau avec enduit extérieur



Figures A40 : Exemple partie courante Panneau avec bardages



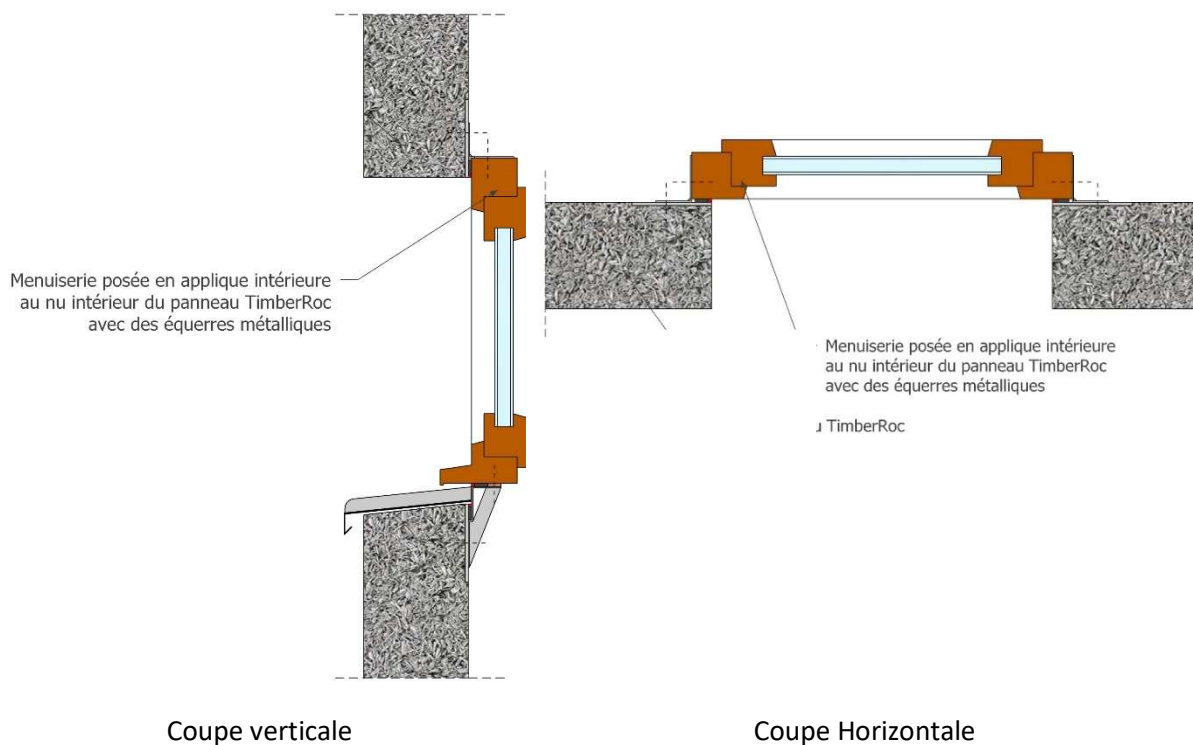
Figures A41 : Exemple partie courante Panneau avec ETICS



Figures A42 : Schémas d'intégration des menuiseries avec pose en applique

A42-A :

- **En Applique** : au nu intérieur des panneaux en béton de bois ;



*Exemple avec cornière d'appui
et pièce d'appui métallique*

A42-B :

- **En Applique** : au nu intérieur des panneaux en béton de bois ;

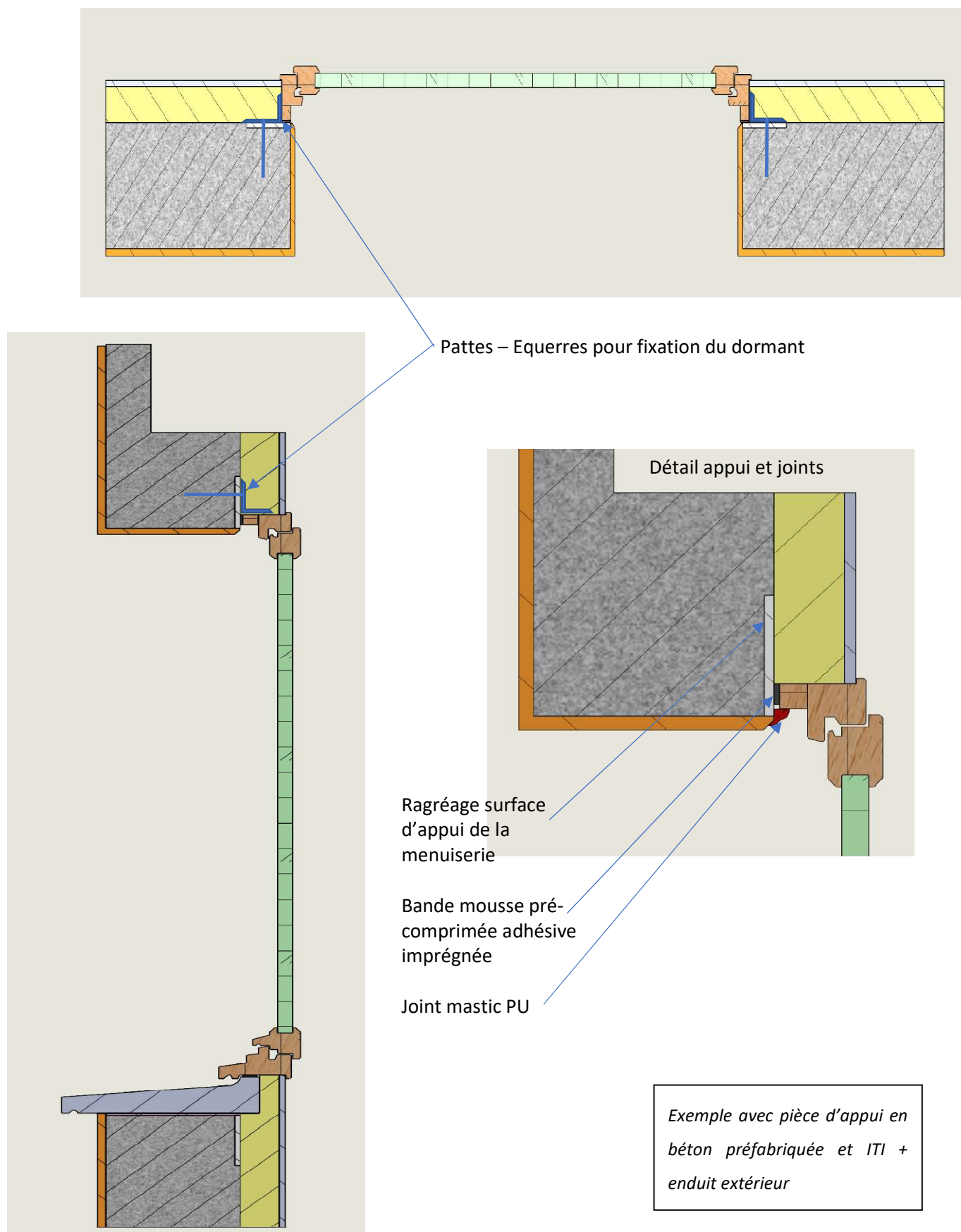
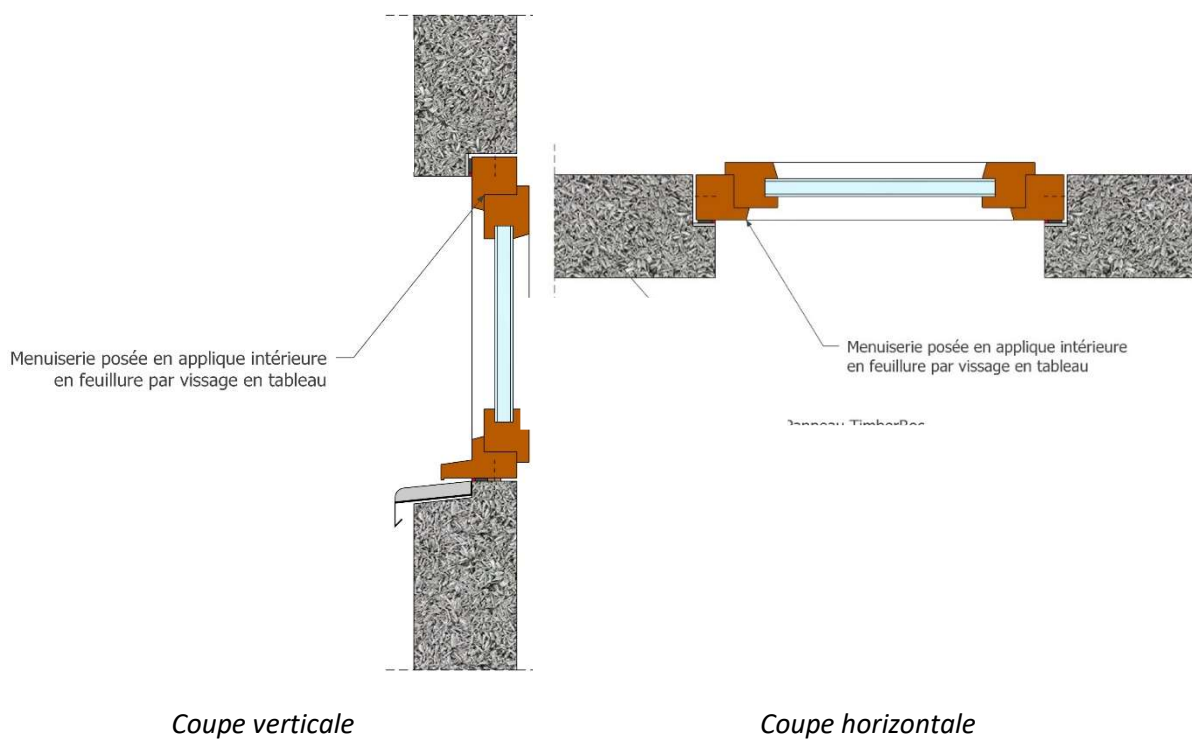


Figure A43 : Schémas d'intégration des menuiseries avec pose en applique / feuillure

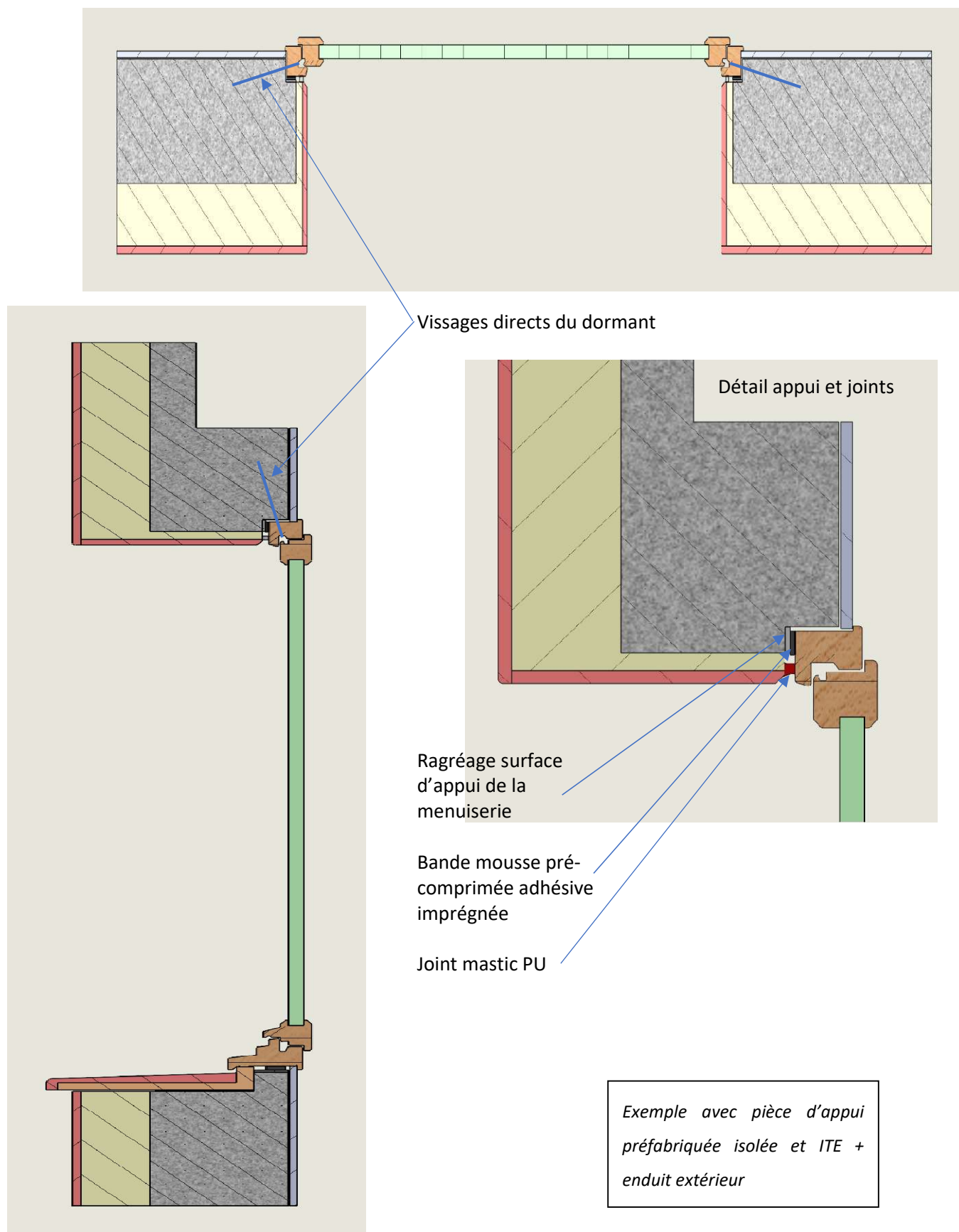
A43-A :

- **En applique / feuillure** : intérieure dans l'épaisseur des panneaux en béton de bois.



A43-B :

- **En Applique / Feuillure** : au nu intérieur des panneaux en béton de bois ;



11. Annexe n°11 : Procédure de pose des enduits à base minérale

Le mode de réalisation des travaux d'enduisage est détaillé dans la procédure :

CCB/P2-chantier

Il est rappelé que la pose des enduits et crépis sur les murs préfabriqués TimberRoc doit se faire en suivant

le NF DTU 26.1 adapté aux spécificités du support béton de bois TimberRoc.

D'une façon générale, le composite béton de bois est un béton de granulats légers, utilisant un liant ciment. Il offre une surface qui réagit sensiblement comme un support béton avec des aspérités de surface plus importantes. Sa porosité et sa sorption à l'eau sont celles d'un béton de granulats légers biosourcés dont il faut tenir compte dans le choix des revêtements pour éviter tout risque de sinistre. Les opérations ci-dessous doivent se faire à l'abri des intempéries, dans des conditions de température correspondant aux produits utilisés et sur support béton de bois non humidifié (à éviter juste après une période de pluie).

Caractérisation du support Béton de bois TimberRoc

- **Résistance arrachement support béton de bois :**

Caractérisation de la classe Rt de murs en béton de bois au sens du DTU 26.1 et sur la base de la norme NF EN 1015-12.

Document RE31-A : Rapport d'essais du 16/05/2022 n° 037516 du CERIB

Résultats principaux :

La contrainte d'arrachement en tant que valeur moyenne obtenue à partir des valeurs individuelles des cinq valeurs est égale à 1,11 MPa – la rupture est cohésive dans le support béton de bois.

Compte tenu de ces résultats et des indications du tableau 3 de la P1-2 du NF DTU 26.1 « Résistance à l'arrachement de la surface des éléments de maçonnerie à enduire », la résistance à l'arrachement de la surface des éléments de maçonnerie à enduire est classée Rt3.

- **Résistance adhérence enduits – support béton de bois :**

Caractérisation mécanique de l'adhérence entre un mortier et le support bois-béton selon la norme NF EN 1015-12 : « Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie —Partie 12 : Détermination de l'adhérence des mortiers d'enduit durcis appliqués sur supports » et par la norme EN 1542 "Mesurage de l'adhérence par traction directe".

Document RE31-B : Rapport d'essais du CERIB n° 036961 du 07/04/2022

Résultats principaux :

Les essais ont été réalisés sur 6 séries de 5 supports en béton de bois de dimensions nominales 550 x 150 x 160mm et recouverts avec différents enduits. Adhérence par traction directe de l'enduit sur béton de bois TimberRoc. Le collage des pastilles de 50 mm de diamètre a été réalisé par une résine à deux composants à prise rapide.

L'enduisage est réalisé directement sans primaire d'accroche ou de gobetis sur support béton de bois.

Nom de l'enduit	Weberpral G	Superbrut	Monopass GF	Fassacouche
Fabricant	WEBER	PRB	VPI	FASSA BORTOLO
Type d'enduit	Hydraulique – OC2	Hydraulique – OC1 semi allégé	Hydraulique – OC1 semi allégé	Hydraulique – OC2 semi allégé
Application	Face Dessus coffrage	Face Dessus coffrage	Face Dessus coffrage	Face Dessus coffrage
Contrainte Moyenne en Mpa	0,62	0,29	0,28	0,40
Type de rupture	Adhésive	Adhésive	Adhésive et cohésive	Adhésive

Choix des enduits / crépis : enduit monocouche hydraulique

Les enduits à sélectionner pour le support béton de bois TimberRoc sont de type OC1 et OC2:

- enduits monocouche à liant hydraulique (ciment, chaux, ciment et chaux)
- agréés pour une pose sur support de type béton, maçonnerie de blocs béton ou de briques.

Quelques exemples de produits déjà mis en œuvre, testés par CCB Greentech ou disposant d'une recommandation fournisseur :

- Monopass (GF ou GM) de VPI (OC1 Semi-allégé)
- Parexal de PAREX LANKO (OC2 Semi allégé)
- Monorex de PAREX LANKO (OC1 Semi-allégé)
- Fassacouche de FASSA BORTOLO (OC2 Semi allégé)
- Super Brut de PRB (OC2 Semi allégé)

Des enduits avec des compositions et propriétés équivalentes peuvent être choisis ils doivent être OC1 ou OC2.

DTU 26.1 :

Enduit monocouche OC :

Mortier performant appliqué en une seule couche (mais en une ou deux passes avec le même mortier), qui remplit les mêmes fonctions qu'un système d'enduit multicouches extérieur et qui est coloré. Les mortiers d'enduit monocouche sont fabriqués avec des granulats courants lourds et/ou légers.

Préconisations générales de mise en œuvre sur support TimberRoc

Pour les travaux d'enduisage les prescriptions indiquées ci-dessous doivent être suivies :

L'enduisage doit être réalisé **3 mois au minimum** après montage des murs en béton de bois TimberRoc et préférentiellement en évitant la période hivernale.

L'enduisage ne doit pas être réalisé après que les murs en TimberRoc ont été exposés à une période de forte pluie ou de gel.

D'une façon générale, les enduits frais doivent être protégés du gel et d'un séchage trop rapide. Une température de +8 °C est conseillée comme valeur minimale (Dans tous les cas 5°C minimum) pour l'application et pour un bon durcissement du mortier. L'application par temps venteux peut provoquer la formation de fissurations et « brûlures » des enduits.

DTU 26.1 :

Traitement des points singuliers de l'ouvrage :

Afin d'augmenter la durabilité des travaux d'enduisage dans le temps, les têtes de murs, appuis d'ouvertures doivent être protégées par un débord de toiture, par couronnements ou chaperons, bavettes ou corniches, etc., munies d'un dispositif (goutte d'eau par exemple) assurant l'écartement des eaux de pluie de la tranche supérieure de l'enduit. Si la protection n'est pas assurée par une toiture ou une saillie (appui de baie débordant par exemple), il est nécessaire de rapporter un ouvrage complémentaire (ex. bavette, chaperon avec goutte d'eau).

Principales étapes de mise en œuvre

/1/ Préparation du support

Les interstices, creux et défauts de surface doivent être comblés avant tout travaux d'enduisage.

Il s'agit de prévoir des treillis de renfort sur les points singuliers suivants :

- Joints verticaux et horizontaux entre panneaux.
Pour les joints horizontaux, correspondant à un plancher à l'intérieur du bâtiment,
- Les angles des menuiseries et les surfaces derrière les linteaux de renfort,
- Les points particuliers de la façade ou les zones de présence d'éléments en béton.

/2/ Humidification des parois

Il est nécessaire d'humidifier les parois des murs en béton de bois TimberRoc destinées à recevoir l'enduit. Cette humidification doit être raisonnable et fonction des conditions climatiques extérieures des jours précédents et actuelles à la pose, elle est réalisée à l'avancement de la pose de l'enduit.

L'humidification se fait à refus la veille en évitant de gorger le mur d'eau et elle est complétée le jour de l'application, moins d'une demi-heure avant les travaux d'enduisage. Il faut veiller à ce que le support soit « ressuyé » en surface au moment de la projection de l'enduit.

/3/ Réalisation 1^{ère} passe d'enduit

Etaler une première passe d'enduit, en projetant de bas en haut, sur une épaisseur de 6 mm à 8mm environ (voir préconisations du fabricant).

La première passe doit être dressée et serrée mais non lissée (utiliser une règle ou lisseuse crantée, peigne pour griffer) pour permettre la bonne adhérence de la seconde passe.

Pour le dosage de l'enduit et les spécificités de mise en œuvre, se référer à la documentation technique ou aux préconisations du fournisseur d'enduit. Prendre garde à la durée pratique d'utilisation (DPU) de la gâchée qui est habituellement indiquée par le fabricant de l'enduit.

Gobetis : La nécessité d'un gobetis ou d'un primaire d'accroche doit être étudiée avec le fabricant d'enduits.

Il est possible de réaliser un gobetis en couche mince préparatoire pour régulariser la porosité du support en béton de bois et assurer l'accrochage de couches ultérieures d'enduit.

Préparer un gobetis (de type supports anciens ou rénovation) selon les recommandations du fournisseur d'enduit et en tenant compte du DTU 26.1 : partie 6.1.2 Gobetis d'accrochage.

Projeter le gobetis ainsi préparé sur les parements sur une épaisseur comprise entre 3 et 5 mm.

Projeter l'enduit, sans talochage ni lissage afin d'optimiser l'accrochage, sur le support de béton de bois. (Cette opération un peu délicate peut se faire manuellement avec une truelle ou mécaniquement avec un sablon couplé à un compresseur.)

Le gobetis doit couvrir le support béton de bois sans surcharge.

Laisser le gobetis rugueux en surface. Le gobetis doit être sec et durci avant de prévoir son recouvrement.

Le délai d'attente entre la 1^{ère} couche et le gobetis ne peut être inférieur à 48h, il est fonction des dosages, des conditions atmosphériques et des préconisations du fabricant de l'enduit.

/4/ Marouflage dans la 1^{ère} passe (ou gobetis) des treillis de renfort

Maroufler, dans cette passe, un treillis de renfort sur toute la façade ou des pièces de treillis de renfort en fibre de verre, maille 8x8, au droit des points à risque et notamment :

- aux angles des ouvertures (positionner les mouchoirs à 45°),
- à la jonction entre deux panneaux préfabriqués, verticaux ou horizontaux,
- au niveau des planchers intérieurs (le treillis doit déborder **d'au moins 15cm** les limites basses et hautes du plancher),
- au droit de toutes les zones singulières : coffret de volet roulant.

Treillis à utiliser :

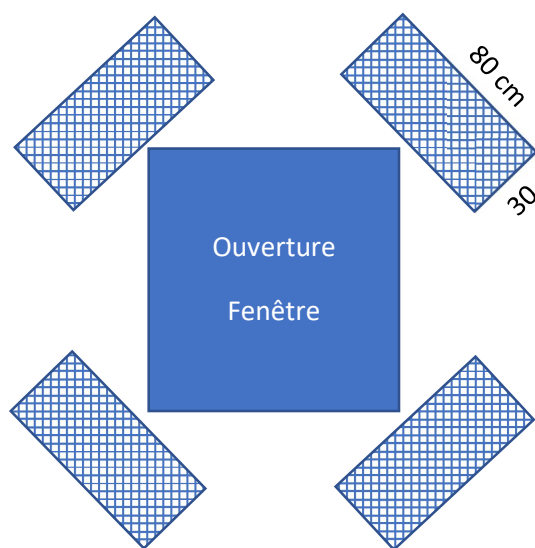
Le treillis en Fibre de Verre sera conforme aux spécifications du DTU 26.1-Partie 2, avec notamment :

- traitement durable contre les aléas
- dimensions des mailles adaptées au type d'enduit (ex : 10mm)
- résistance ≥ 35 daN/cm (maille 10mm)

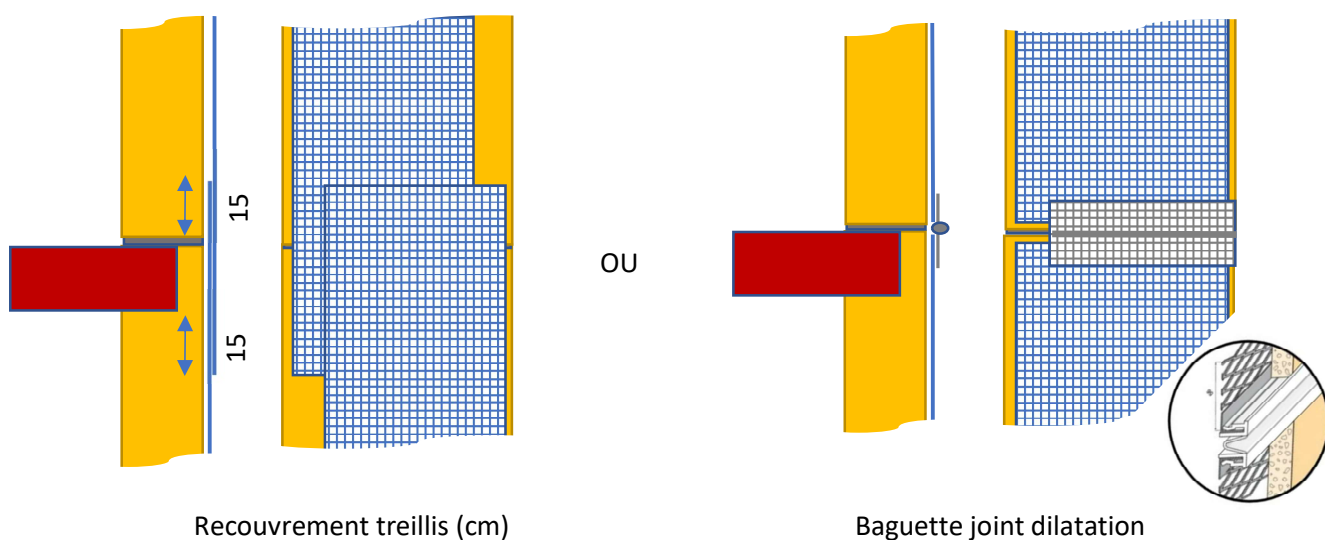
Pour ce faire, il est utilisé 1 treillis Fibre de verre bénéficiant d'une certification CSTBat ou équivalent :

Classification TRAME $T \geq 2$, $Ra \geq 1$, $M \geq 4$ et $E \geq 2$

Traitement complémentaire aux angles des ouvertures :



Traitement pour les raccords horizontaux au niveau des planchers :



Une fois l'armature posée, l'enduit frais doit être peigné ou griffé et sécher avant l'application des couches ultérieures.

/5/ Réalisation 2^{ème} passe d'enduit

Le délai d'attente entre la 2^{ème} couche et la 1^{ère} couche ne peut être inférieur à 4h, il est fonction des dosages, des conditions atmosphériques et des préconisations du fabricant de l'enduit.

Après humidification, projeter une deuxième passe d'enduit sur une épaisseur d'environ 8 mm (voir préconisations du fabricant).

Dresser et serrer cette passe à l'aide d'une règle ou d'un couteau avec des passes horizontales

Pour le dosage de l'enduit et les spécificités de mise en œuvre, se référer à la documentation technique ou aux préconisations du fournisseur d'enduit.

L'épaisseur de l'enduit fini ne doit pas être inférieure à 10 mm en tout point saillant de la maçonnerie ni être supérieure à 25 mm (y compris au niveau des modénatures en surépaisseur).

/6/ Finitions

Les finitions suivantes sont possibles : Projetée-écrasée, Grattée, Brossée, Talochée, Talochée éponge, Lissée...

Note : La finition « taloché » est à limiter aux petites surfaces (modénatures, encadrements de baie...) car ce type de finition est plus sensible au faïençage.

Points d'attention :

Matériaux de nature différente :

L'enduit devra être désolidarisé à la jonction avec tous matériaux de nature différente à l'aide de la **bande de désolidarisation** ou de tout autre produit adapté à cet usage.

Joints de dilatation :

Les joints de dilatation de l'ouvrage ne devront pas être revêtus par le système d'enduit ; ces derniers devront être remis en état et être recouverts à l'aide d'un profilé adapté.

De la même manière, les joints de fractionnement et de construction de l'ouvrage devront être respectés.

Pieds de murs :

Les enduits extérieurs, autres que ceux à base de liants hydrauliques (ex. exclusivement à base de chaux aérienne) ou capillaires (W0 ou W1), doivent être arrêtés au-dessus de la zone de rejaillissement, soit au minimum 15 cm au-dessus du sol, sans toutefois être au-dessous de la coupure de capillarité des maçonneries neuves.

Les enduits fortement dosés en liants hydrauliques ou à faible capillarité (W2) peuvent être descendus au niveau du sol fini.

10. Annexe n°12 : Etudes de cas en principe constructif CS2

CCB GREENTECH : CAS D'ÉTUDES

Note de calcul sismique

Ind.	Date	Modifications	Rédigé par	Vérifié par
Ø	11/01/2022	Version initiale	GALIMONT T.	VOGT J.
A	30/05/2022	Compléments Justifications	GALIMONT T.	VOGT J.
B	27/06/2022	Mise à jour partie 6	GALIMONT T.	VOGT J.
C	08/07/2022	Coefficient partiel de sécurité du béton de bois	GALIMONT T.	VOGT J.

POLETUDES – 529, route des Vernes – 74370 PRINGY – Tel : (+33) 4 57 98 13 66 – e-mail : contact@poletudes.fr

SAS au capital de 49 680 € – RCS Annecy : 530 050 061 – SIRET : 530 050 061 00031 – Code APE 7112 B – TVA : FR 95 530 050 061

Sommaire

1. Objet de la note	172
2. Présentation du projet	172
3. Système de contreventement	177
4. Règlements et normes	179
5. Hypothèses de dimensionnement	180
6. Méthode de dimensionnement	186
7. Modèle A : béton de bois	190
8. Modèle B : projet mixte béton armé/béton de bois	204

Table des tableaux

Tableau 1 – Caractéristiques du contexte géographique du projet	
Tableau 2 – NF EN 1992.1.1 – Tableau 3.1 – Caractéristiques de résistance et de déformation du béton	
Tableau 3 – Paramètres du béton de bois TimberRoc	
Tableau 4 – Masses modales (modèle A)	
Tableau 5 – Déplacements relatifs entre étages (modèle A)	
Tableau 6 – Masses modales (modèle B mixte)	
Tableau 7 – Déplacements relatifs entre étages (modèle B mixte)	

Table des illustrations

Fig. 1 – Localisation de l'opération	
Fig. 2 – Vue Géoportail de la zone de l'opération	
Fig. 3 – Tableau paramètres géométriques issu de l'EC8.....	
Fig. 4 – Extrait de l'EC8 Clause 9.3 (4).....	
Fig. 5 – Modèle béton de bois CS2 - Axonométrie 1.....	
Fig. 6 – Modèle béton de bois CS2 - Axonométrie 2.....	
Fig. 7 – Modèle béton de bois CS2 - Axonométrie 3.....	
Fig. 8 – Modèle béton de bois CS2 – Vue RDC avec nomenclature	
Fig. 9 – Modèle béton de bois CS2 – Vue R+1 avec nomenclature	
Fig. 10 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée globale D.....	
Fig. 11 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée Dx selon direction X.....	
Fig. 12 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 1	
Fig. 13 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 2	
Fig. 14 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 3	
Fig. 15 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) – Vue RDC avec nomenclature.....	
Fig. 16 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) – Vue R+1 avec nomenclature	
Fig. 17 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée globale D.....	
Fig. 18 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée Dx selon direction X.....	

1. Objet de la note

L'objet de la présente note est d'illustrer sur deux exemples la démarche à suivre pour la justification au séisme d'un bâtiment faisant appel au système constructif CS2. Ce système est composé de panneaux de murs TimberRoc et de chaînages verticaux et horizontaux. Le fonctionnement structural du système CS2 est détaillé dans le corps du dossier technique, il est équivalent à celui de la maçonnerie chaînée.

Le présent document synthétise les différentes hypothèses relatives aux propriétés des matériaux, à la conception structurelle et aux principes de justification au séisme de l'ouvrage. Celle-ci est établie dans le cadre d'une démarche visant à l'obtention d'une ATEX de cas A, puis d'un avis technique.

2. Présentation du projet

Le projet porte sur la construction des bureaux de l'entreprise CCB dans la commune de Beaurepaire (38270).

2.1. Contexte géographique

Le contexte géographique du bâtiment étudié est le suivant :

Département	ISERE (38)
Canton	BEAUREPAIRE
Adresse	515 Rte de Marcollin 38270 Beaurepaire
Altitude	≈ 260 m
Distance du littoral le plus proche	≈ 200 km

Tableau 1 – Caractéristiques du contexte géographique du projet



Fig. 1 – Localisation de l'opération



Site CCB – Greentech

Zone du projet debureaux

Fig. 2 – Vue Géoportail de la zone de l'opération

2.2. Description de l'ouvrage

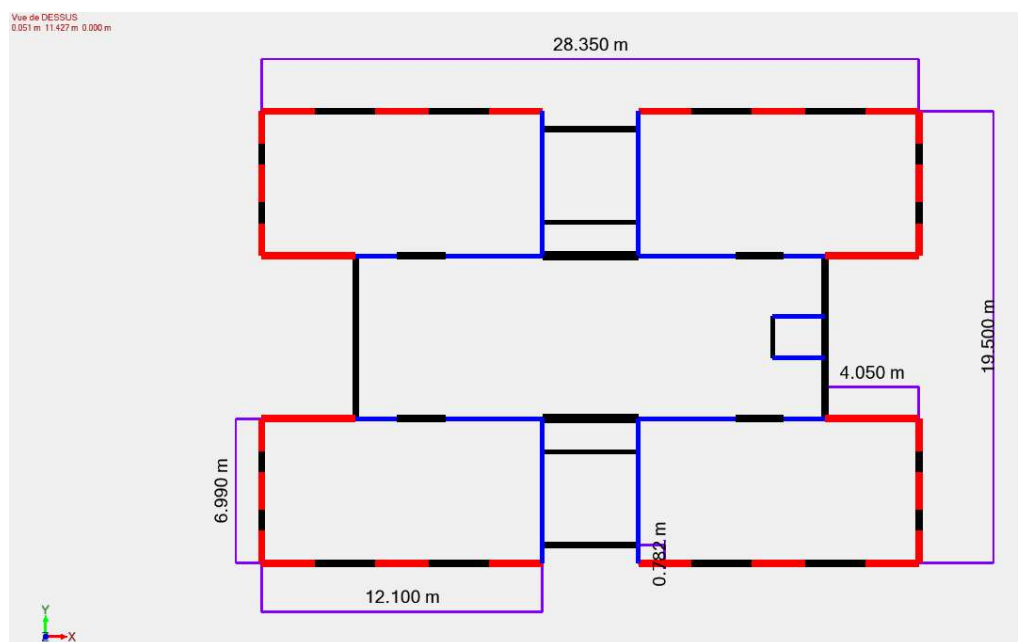
2.2.1. Environnement

- [Dans projet] L'ouvrage futur est voisin de deux bâtiments existants qui ne seront pas impactés par les travaux : la ligne de production et l'atelier de préfabrication.
- [Hors projet] L'ouvrage futur ne possède pas de voisin proche hors des limites de propriété du projet.

2.2.2. Décomposition des bâtiments

Le projet est composé d'un unique bloc de 28.50 x 19.65 m environ.

Il est à noter que le bloc étudié possède des retraits sur ses 4 façades principales.



Ces retraits sont à l'échelle du bâtiment des zones fusibles/tampon, qui permettent de libérer les contraintes de retrait et dilatation.

Cette disposition permet de justifier la conformité du bâtiment vis-à-vis des longueurs maximales admissibles entre joints de dilatation (cas des régions de l'Est & Alpes limitées à 25m selon DTU 20.1).

2.2.3. Description des niveaux

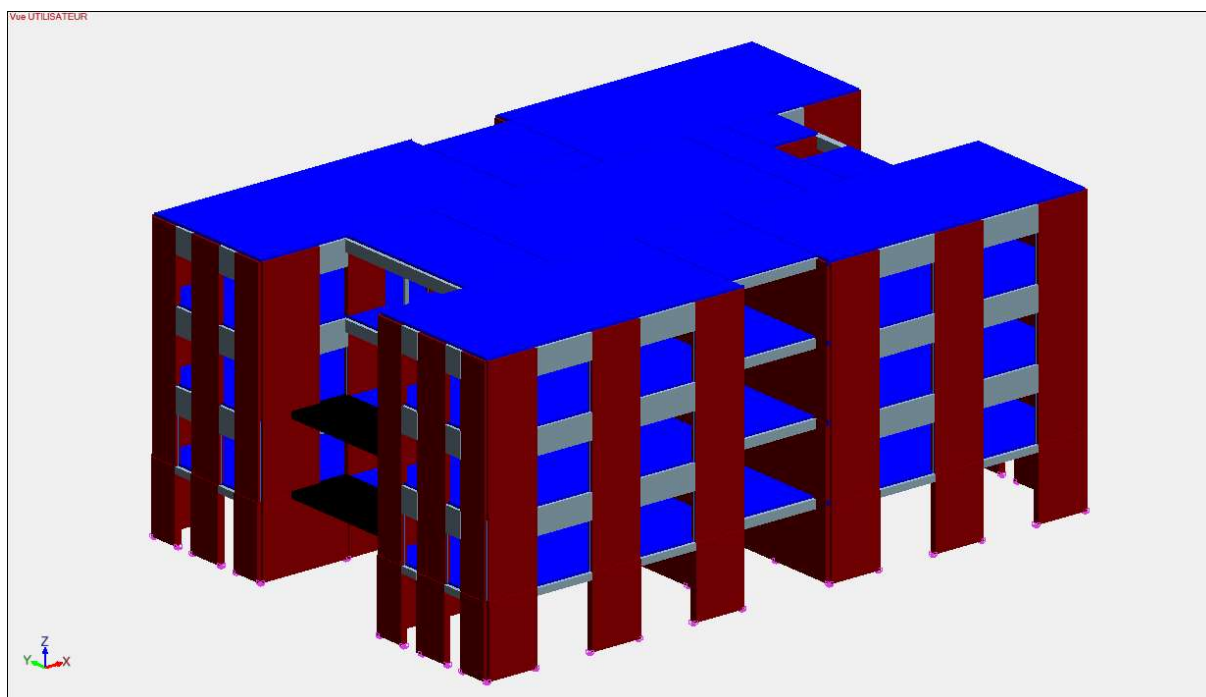
Le projet présenté comporte 4 niveaux :

- **RDC** : hall, zones de bureaux, local technique, cuisine + réfectoire, sanitaires etterasse.
- **R+1** : zones de bureaux, sanitaires, circulation.
- **R+2** : zones de bureaux, sanitaires, circulation.
- **R+3** : zones de bureaux, sanitaires, circulation.

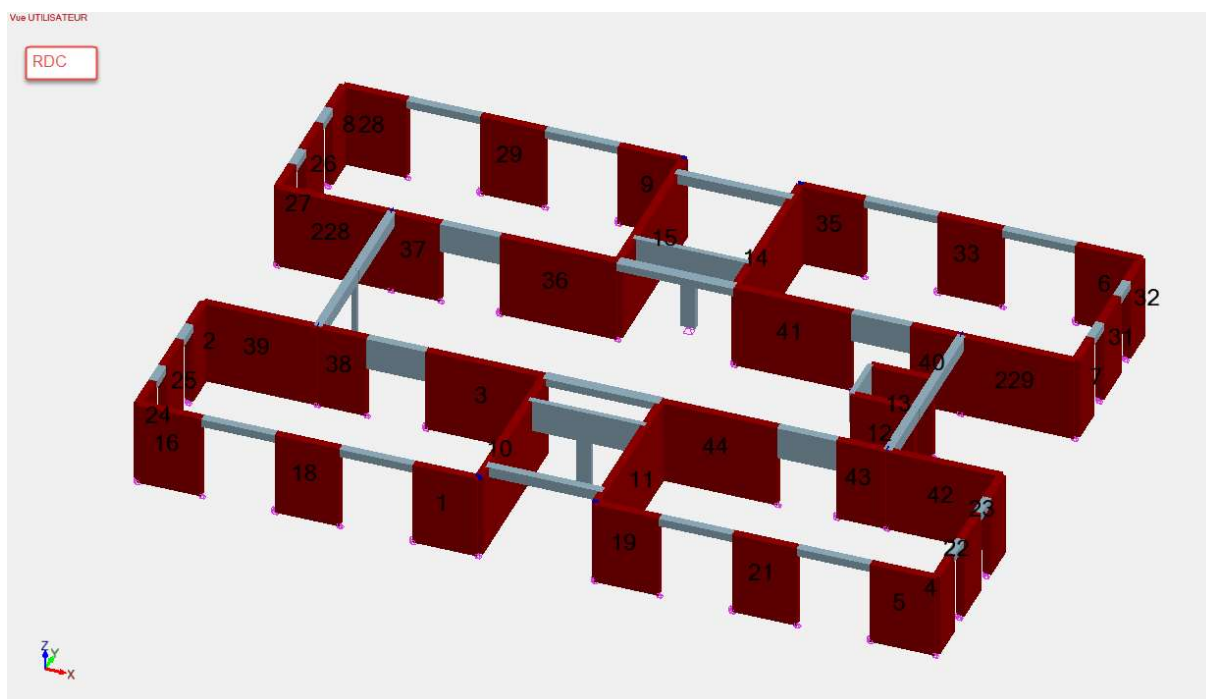
2.2.4. Principe de structure

Les infrastructures du projet sont prévues en béton armé. Pour cette étude, deux modèles seront présentés. Les planchers sont prévus en béton armé ; ils assurent un rôle de diaphragmes et répartissent les efforts horizontaux sur les différents éléments de contreventement.

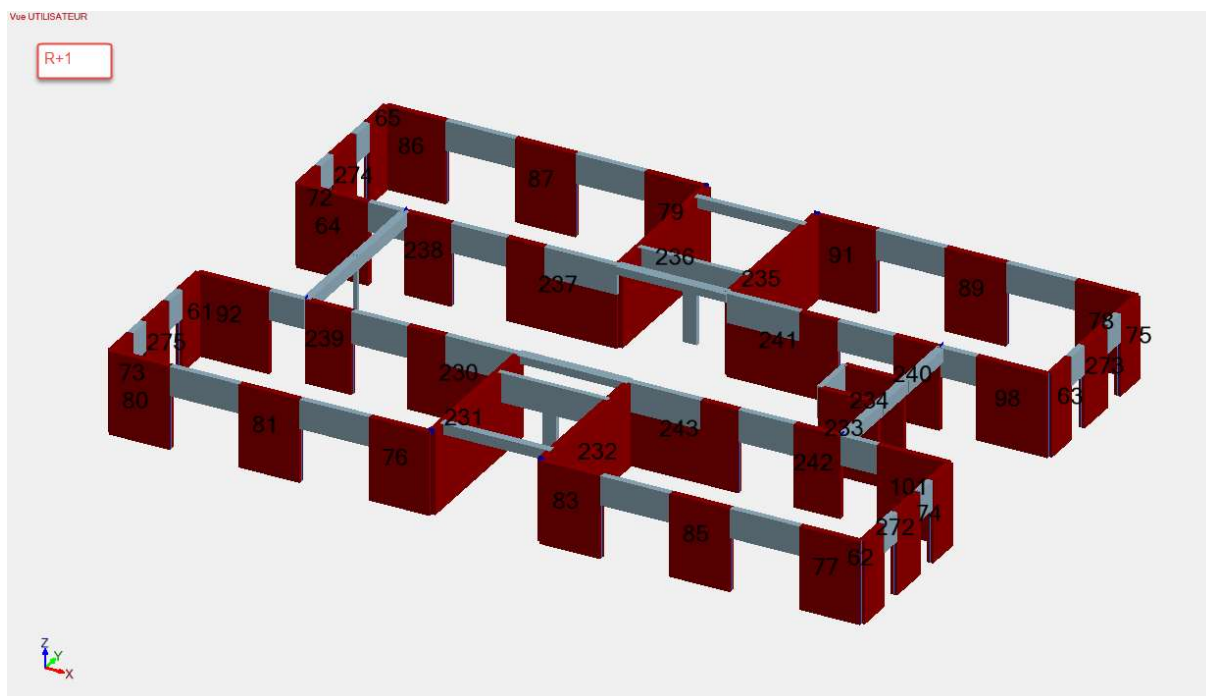
- **MODELE A** : superstructure avec murs en béton de bois : Murs CS2 TimberRoc



Niveau RDC :

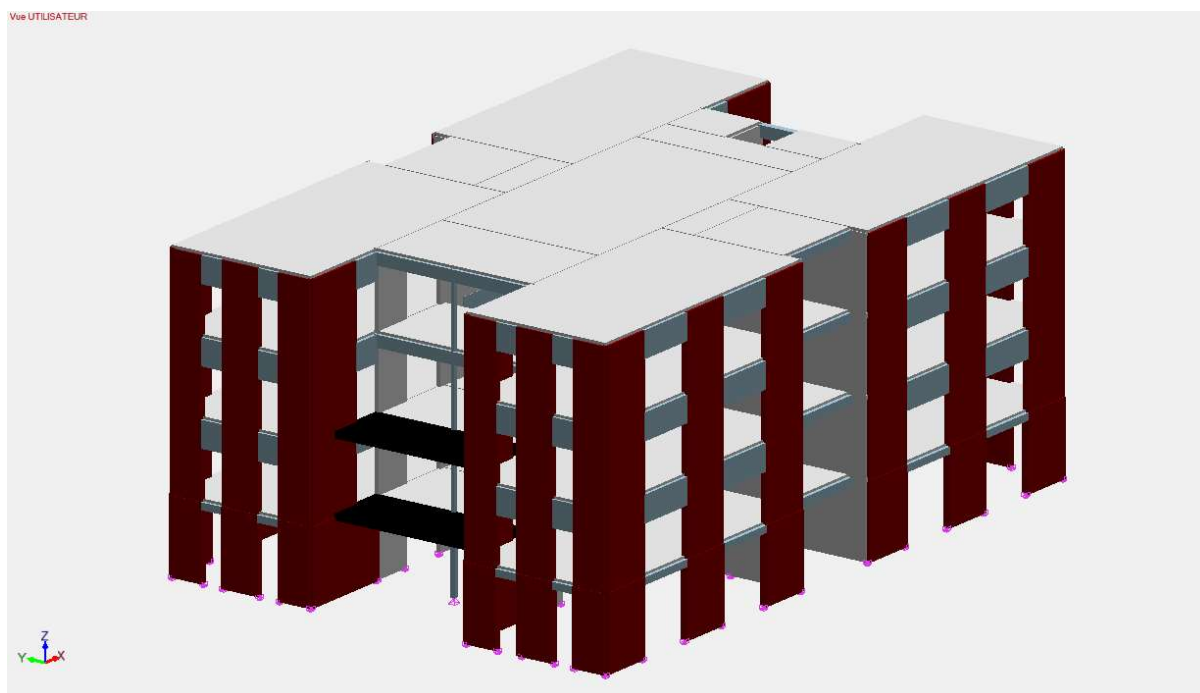


Niveau R+1 :

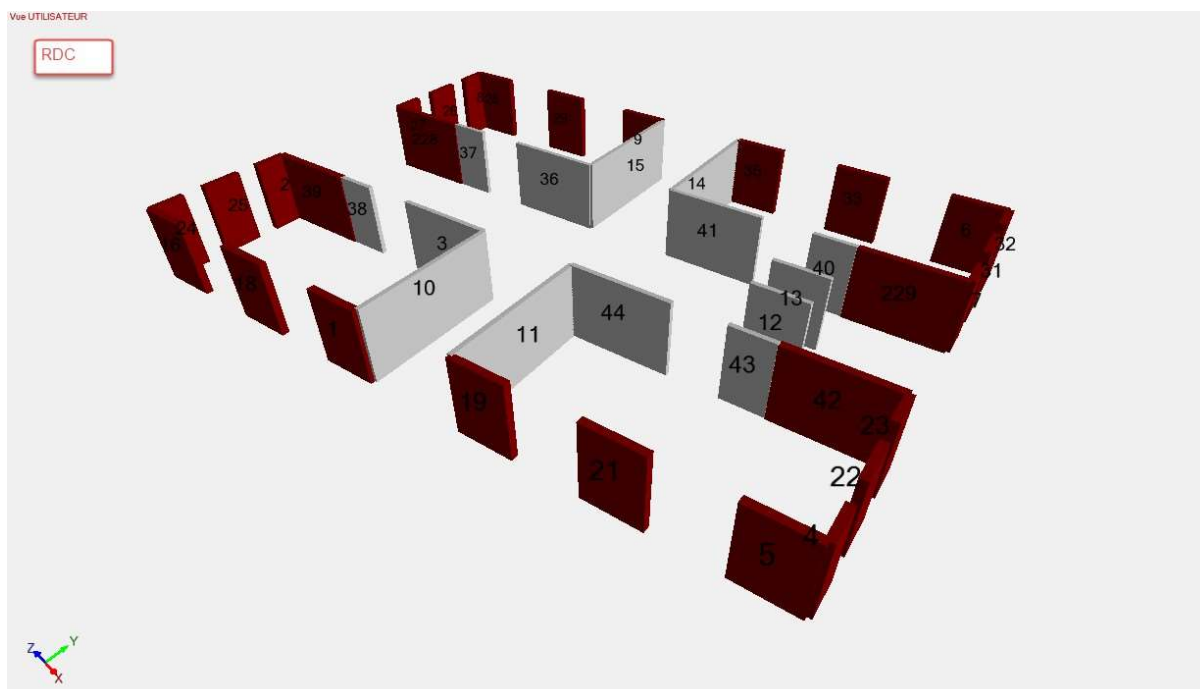


Conformément au dossier technique Panneaux CS2 de CCB Greentech, s'agissant d'un bâtiment en R+3, les panneaux TimberRoc du premier niveau RDC sont en épaisseur 30 cm (minimum). Afin de répondre aux exigences structurelles, certains panneaux du niveau R+1 sont également en épaisseur 30cm. L'ensemble des autres panneaux et des étages R+2 et R+3 sont en 24cm d'épaisseur.

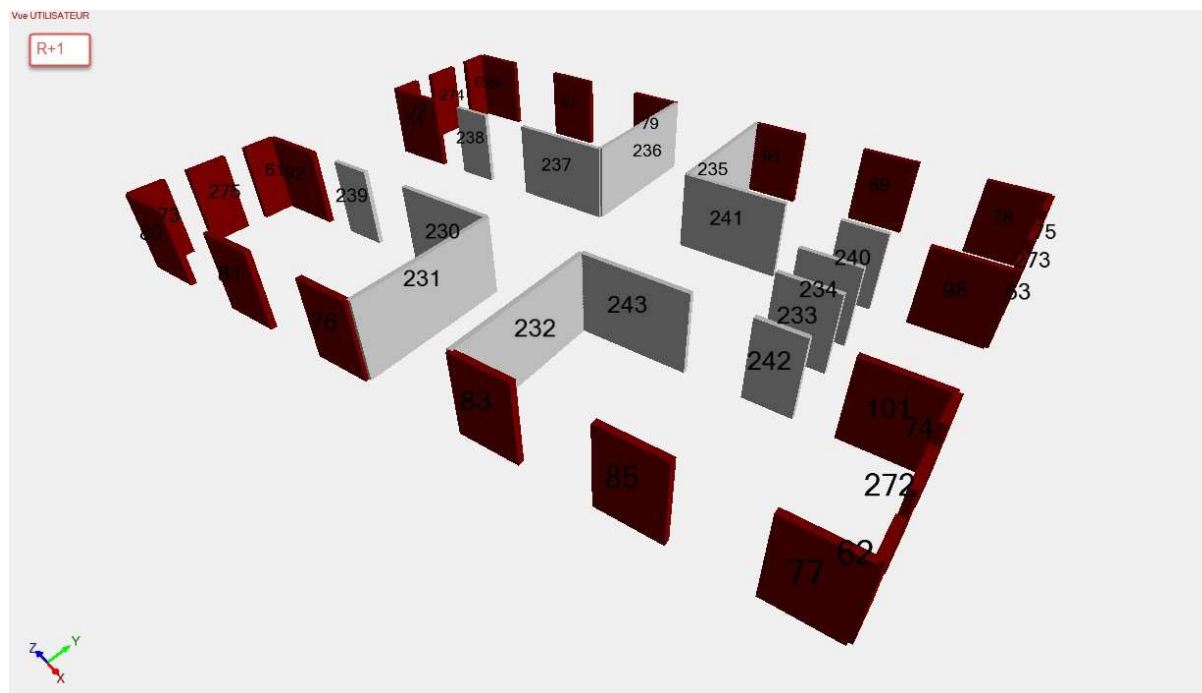
- **MODELE B** : superstructure mixte avec murs en béton armé (murs intérieurs gris) et béton de bois CS2 TimberRoc (murs de façade marron)



Niveau RDC :



Niveau R+1 :



Conformément au dossier technique Panneaux CS2 de CCB Greentech, s'agissant d'un bâtiment en R+3, les panneaux TimberRoc du premier niveau RDC sont en épaisseur 30 cm (minimum). L'ensemble des autres panneaux et des étages R+2 et R+3 sont en 24cm d'épaisseur. Les voiles en béton armé ont une épaisseur de 20 cm.

3. Système de contreventement

Le contreventement de la structure est assuré par les voiles, qui peuvent être considérés soit comme primaires (murs descendant leurs charges en ligne direct aux fondations), soit comme secondaires.

Les conditions permettant de distinguer les murs primaires des murs secondaires sont les suivantes :

La clause 5.4.1.2(2)P de l'EC8-1 interdit le supportage, même partiel, d'un mur primaire par une poutre ou une dalle en flexion.

En revanche, un mur primaire supporté par plusieurs poteaux ayant le même plan moyen et situés dans le polygone de sustentation (par l'intermédiaire d'une poutre, poutre voile ou voûte de décharge en pied de mur), n'est pas concerné par cette clause d'exclusion, car il y a bien continuité dans le plan de ce mur de la transmission de l'effort normal et du moment, le plancher n'assurant que le transfert des forces horizontales.

3.1. Critère de conformité du béton de bois

L'ossature verticale des bâtiments est composée de **voiles**, qui assurent le contreventement de l'ouvrage.

Les voiles en béton de bois CS2 TimberRoc doivent respecter les prescriptions de l'EC8 §9.5.1 + AN, relatifs aux paramètres géométriques des voiles de contreventement en maçonnerie :

Type de maçonnerie	$t_{ef,min}$ (mm)	$(h_{ef}/t_{ef})_{max}$	$(l/h)_{min}$
non armée, avec blocs en pierres naturelles	350	9	0,5
non armée, avec tout autre type de bloc	240	12	0,4
non armée, avec tout autre type de bloc, en cas de faible sismicité	170	15	0,35
maçonnerie chaînée	150	20	0,4
maçonnerie armée	240	15	pas de restriction
Les notations utilisées ont les significations suivantes : t_{ef} épaisseur du mur (voir l'EN 1996-1-1:2004) ; h_{ef} hauteur effective du mur (voir l'EN 1996-1-1:2004) ; h hauteur libre maximale des ouvertures adjacentes au mur ; l longueur du mur.			

Valeurs
issues de
l'annexe
nationale
EC8

Fig. 3 – Tableau paramètres géométriques issu de l'EC8

Il est à noter également que les voiles CS2 TimberRoc doivent respecter les dispositions de l'EC8 concernant les chaînages verticaux avec :

- (4) Il convient de placer les chaînages verticaux :
- aux bords libres de chaque élément de mur de la structure ;
 - de chaque côté des ouvertures pratiquées dans les murs, dont la surface est supérieure à 1,5 m² ;
 - si nécessaire à l'intérieur du mur pour que l'espacement entre les chaînages ne dépasse pas 5 m ;
 - à chaque intersection entre les murs de structure, lorsque les chaînages imposés par les règles ci-dessus sont distants de plus 1,5 m.

3.2. Critère de conformité de béton armé

Pour les ouvrages béton, nous effectuerons un calcul en DCM. Les murs seront considérés comme des murs de grandes dimensions faiblement armés. Pour ces derniers, des exigences géométriques sont demandées notamment sur l'épaisseur d'un voile.

De ce fait, pour que le mur puisse travailler au séisme et être considéré comme primaire, il doit respecter la condition énoncée dans l'EC8 Partie 1 – 5.4.1.2.4 et 5.4.1.2.3 :

5.4 Dimensionnement pour la classe DCM

5.4.1 Contraintes géométriques et matériaux

5.4.1.2 Contraintes géométriques

5.4.1.2.4 murs de grandes dimensions en béton peu armé

(1) Les dispositions de l'alinéa 5.4.1.2.3(1) s'appliquent aussi aux murs de grandes dimensions peu armés.

5.4.1.2.3 murs ductiles

(1) Il convient que l'épaisseur b_{wo} (en mètres) de l'âme respecte la condition donnée par l'expression suivante :

$$b_{wo} \geq \max\{0,15, h_s/20\} \quad \dots (5.7)$$

expression dans laquelle h_s est la hauteur libre d'étage, en mètres.

Les murs travaillant au séisme ne devront donc pas avoir une épaisseur inférieure à 20cm.

3.3. Repérage murs sismiques primaires et secondaires

Les murs étant alignés pour ce projet (les charges descendent en ligne directe jusqu'aux fondations), tous les murs sont considérés primaires.

A noter : La norme NF EN 1998-1 précise que la raideur et la résistance des murs secondaires peuvent être négligées dans leur fonction de contreventement, pour autant que leur raideur globale reste inférieure à 15 % de la raideur des éléments sismiques primaires.

Dans le cas où la raideur des murs intermédiaires (non primaires et donc secondaires), car supportés par un plancher ou une poutraison de reprise dépasse la limite de 15%, la structure de contreventement devra être justifiée par un double calcul :

- ⇒ Modèle global : Le modèle devra comporter l'ensemble de la structure, y compris les éléments sismiques secondaires
- ⇒ Modèle avec structure primaire seule : les murs secondaires devront être neutralisés en les remplaçant :
 - Soit par des portiques articulés (avec des poteaux espacés de 50cm à 1m)
 - Soit en modifiant les caractéristiques de matériau (matériau orthotrope en lieu et place d'un matériau isotrope) de manière à traduire son effet neutralisé de contreventement.

3.4. Règlements et normes

Tous les ouvrages seront calculés selon les normes et règlements suivants :

- ⇒ Eurocodes structuraux

Le référentiel technique retenu pour le dimensionnement est celui constitué par les Eurocodes, leurs annexes nationales Françaises ainsi que les normes nationales complémentaires.

- Eurocode 0 NF EN 1990 : Base de calculs des structures ;
 - Eurocode 1 NF EN 1991 : Actions sur les structures ;
 - Eurocode 2 NF EN 1992 : Calculs des structures en béton ;
 - Eurocode 6 NF EN 1996 : Calcul des structures en maçonnerie
 - Eurocode 8 NF EN 1998 : Calcul des structures pour leur résistance aux séismes
- ⇒ DTU
- DTU 20-1 : Maçonnerie de petits éléments
- ⇒ Publication CERIB
- Maçonneries en zone sismique : méthodes et exemples de dimensionnement
selon l'Eurocode 8 : Guides techniques
- ⇒ Autres :
- GUIDE_EC6. Dimensionner les Ouvrages en Maçonnerie Hurez - Juraszek -Pecle Eyrolles

3.5. Hypothèses de dimensionnement

3.5.1. Matériaux

Béton

Dénomination		C12/15	C16/20	C20/25	C25/30	C30/37	C35/45	C40/50	C45/55	C50/60	C55/67
f_{ck}	(MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55
$f_{ck,cube}$	(MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67
f_{cm}	(MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63
f_{ctm}	(MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2
$f_{ctk,0,05}$	(MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0
$f_{ctk,0,95}$	(MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5
E_{cm}	(GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38
ε_{c1}	(‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,46	2,5
ε_{cu1}	(‰)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,2
ε_{c2}	(‰)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,2
ε_{cu2}	(‰)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,1
n	(-)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,75
ε_{c3}	(‰)	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75	1,8
ε_{cu3}	(‰)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,1

Tableau 2 – NF EN 1992.1.1 – Tableau 3.1 – Caractéristiques de résistance et de déformation du béton

Béton de bois CS2 TimberRoc

Paramètres	Valeurs	Unités	Définitions
f_k	3.00	Mpa	Résistance caractéristique à la compression
γ_M	2.2 ou 1,5	-	Coefficient partiel de sécurité du béton de bois TimberRoc 2.2 (actions durables ou transitoires) ou 1,5 (actions sismiques)
γ_c	1,5 ou 1,3	-	Coefficient partiel de sécurité du béton 1,5 (actions durables ou transitoires) ou 1,3 (actions sismiques)
$F_b = f_m$	>4,00	Mpa	Résistance normalisée des éléments du béton de bois TimberRoc en compression (conforme à l'article 9.2.2 (1) EC8)
f_{vk0}	0,38	Mpa	Résistance initiale au cisaillement du béton de bois TimberRoc
E	2000	Mpa	Module d'Young du béton de bois TimberRoc
ρ	800	kg/m ³	Masse volumique du béton de bois TimberRoc

Tableau 3 - Paramètres du béton de bois TimberRoc

Critères géométriques spécifiques pour les voiles en béton de bois CS2 TimberRoc :

- Rapport L/H $\geq$ 0.5 (méthode des bielles) ou 0.4 (méthode en flexion composée)
- Lmax entre chainages $\leq$ 5m

3.5.2. Charges permanentes et d'exploitation

Bureaux	G (daN/m²)	Q (daN/m²)
<i>Dalle béton</i>	Poids propre	
<i>Equipement (chape, revêtement, ...)</i>	150	
<i>Exploitation</i>		250
<i>Total</i>	PP + 150	250

Toiture	G (daN/m²)	Q (daN/m²)
<i>Dalle béton</i>	Poids propre	
<i>Equipement (isolation, revêtement, ...)</i>	150	
<i>Exploitation (entretien)</i>		100
<i>Total</i>	PP + 150	100

3.5.3. Séisme

Zone sismique

Pour l'étude de ce bâtiment, nous nous sommes placés en zone de sismicité moyenne 4. Pour un bâtiment de catégorie d'importance II, nous sommes la configuration « F » présentée dans le dossier technique de CCB Greentech.

Type d'analyse

Nous analyserons le bâtiment par la méthode « analyse modale utilisant les spectres de réponse », à l'aide du logiciel Advance Design 2016 SP1 et suivant EC8-1 4.3.3.3.

Paramètres :

- Zone de sismicité moyenne 4 => accélération : $a_{gr} = 1,6 \text{ m/s}^2$
- La catégorie d'importance II => coefficient d'importance : $\gamma_I = 1$
- Hypothèse d'une classe de sol de type C => paramètre de sol : $S = 1,5$
- Classe de ductilité **DCM**
- Un coefficient d'amortissement $\xi = 5\%$
- Un module moyen $E = E_{CT} / 2$ considérant les sections fissurées
- Coefficient de poisson $\nu = 0$ (dans le cadre de l'étude sismique)

Il est remarqué que la prise en compte d'une ductilité moyenne est acquise par le respect des dispositions constructives sismiques. (Notamment chainages horizontaux et verticaux adaptés à la catégorie d'importance et zone de sismicité de l'ouvrage)

Directions étudiées

Les directions du séisme prises en compte sont X et Y.

Conformément à EC8-1 4.3.3.5.2, la composante verticale Z n'est pas prise en compte. En effet, l'accélération verticale est inférieure à 0.25g.

$$a_g = a_{gr} \gamma_I = 1,6 \text{ m/s}^2$$

$$\frac{a_{vg}}{a_g} = 0,9 \text{ d'où } a_{vg} = 0,9 a_g = 1,44 \text{ m/s}^2 < 2,5 \text{ m/s}^2$$

Spectre de calcul horizontal pour l'analyse élastique

Le spectre est défini à partir des expressions suivantes, selon EC8-1 3.2.2.5 :

$$0 \leq T \leq T_B : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \dots (3.13)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : \quad S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \dots (3.14)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.15)$$

$$T_D \leq T : \quad S_d(T) = \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad \dots (3.16)$$

On a donc :

- ⇒ $T_B = 0,06 \text{ s}$; $T_C = 0,4 \text{ s}$; $T_D = 2 \text{ s}$ (selon arrêté du 22 octobre 2010)
- ⇒ $S = 1.5$ (voir au-dessus)
- ⇒ $a_g = 1,6 \text{ m/s}^2$ (voir au-dessus)
- ⇒ $\beta = 0.2$
- ⇒ $q = 2.5$ ou 2 (voir au-dessous)
- ⇒

Coefficient de comportement q

Béton de bois

Le coefficient de comportement du béton de bois CS2 TimberRoc est le suivant (valeur de la maçonnerie chaînée) :

- ✓ $q_x = 2,5$
- ✓ $q_y = 2,5$

Béton armé

D'après le §5.2.2.2 de l'Eurocode 8, on a :

$$\begin{aligned} q &= q_0 \times kw \geq 1.5 \\ - q &= 3 \times (\alpha u / \alpha_1) \times kw \geq 1.5 \\ - q &= 3 \times 1.5 \times kw \geq 1.5 \\ - q &= 3 \times 1.5 \times ((1 + \alpha_0) / 3) \geq 1.5 \text{ avec } (1 + \alpha_0) / 3 \leq 1 \\ - q &= 3 \times 1.5 \times ((1 + 0.832) / 3) \geq 1.5 \\ - q &= 2.198 \geq 1.5 \end{aligned}$$

Nous retiendrons, pour le béton, une valeur de $q = 2$ dans toutes les directions.

Projet mixte béton armé/béton de bois

La clause 9.3(4) de l'annexe nationale de l'Eurocode 8 nous permet de déterminer la valeur du coefficient de comportement global du projet. Les valeurs d'efforts tranchant ont été pondérées par des coefficients de comportement de 2 concernant les voiles bétons, et par 2,5 pour les voiles CS2 en béton de bois. La valeur moyenne calculée reste cependant proche de 2 (la part d'efforts tranchants repris par les voiles CS2 est faible).

Nous retiendrons ainsi une valeur de **coefficient de comportement globale à $q = 2$** .

Clause 9.3 (4) Note 1 et Tableau 9.1NF

Les coefficients de comportement retenus sont les suivants

- Maçonnerie non armée conforme à l'EN 1996 $q = 1,5$
- Maçonnerie non armée conforme à l'EN 1996 et à l'EN 1998-1 $q = 2,0$
- Maçonnerie chaînée, joints verticaux remplis ou non $q = 2,5^{**}$
- Maçonnerie armée $q = 3,0$

**** Note :** Il est admis de retenir une valeur majorée, sans excéder $q = 3,0$, sous réserve de l'existence d'un plan de qualité respectant les trois conditions suivantes :

- Pour la conception la rigidité élastique fissurée doit être justifiée par une analyse appropriée et donc non par la simple application du § 4.3.1 (7) . Cette clause ne s'applique pas aux bâtiments relevant de la section 9.7
- le bâtiment étudié a plus de un niveau (étage selon la terminologie du tableau 9.3 NF)
- Pour l'exécution le plan qualité doit notamment demander la vérification systématique de la bonne mise en oeuvre des chaînages, de leurs croisements et de leurs recouvrements, compte tenu de l'existence d'un cahier de détails adapté à la construction et du fait de l'existence d'une formation interne à l'entreprise sur ces points particuliers.

Pour les bâtiments mixtes (comportant des éléments de contreventement en béton et en maçonnerie) il est loisible de retenir un coefficient de comportement par la formule suivante

$$1/q = [\sum (V_i / q_i)^2 / \sum V_i^2]^{0,5}$$

, avec V_i et q_i l'effort tranchant à la base et le coefficient de comportement de l'élément i .

Fig. 4 – Extrait de l'EC8 Clause 9.3 (4)

Masses prises en compte dans l'analyse modale spectrale

Les masses prises en compte dans le modèle pour déterminer les actions sismiques, sont déterminées à partir de la combinaison suivante :

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} Q_{k,i} \quad \text{avec} \quad \psi_{Ei} = \varphi \cdot \psi_{2i} \quad \text{et} \quad \varphi :$$

Type d'action variable	Étage	φ
Catégories A à C*	Toit	1,0
	Étages à occupations corrélées	0,8
	Étages à occupations indépendantes	0,5
Catégories D à F*) et archives		1,0
*) Catégories définies dans l'EN 1991-1-1:2002.		

et ψ_{2i} :

Action	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Charges d'exploitation des bâtiments, catégorie (voir EN 1991-1-1) :			
Catégorie A : habitation, zones résidentielles	0,7	0,5	0,3
Catégorie B : bureaux	0,7	0,5	0,3
Catégorie C : lieux de réunion	0,7	0,7	0,6
Catégorie D : commerces	0,7	0,7	0,6
Catégorie E : stockage	1,0	0,9	0,8
Catégorie F : zone de trafic, véhicules de poids ≤ 30 kN	0,7	0,7	0,6
Catégorie G : zone de trafic, véhicules de poids compris entre 30 kN et 160 kN	0,7	0,5	0,3
Catégorie H : toits	0	0	0
Charges dues à la neige sur les bâtiments (voir EN 1991-1-3) ^{a)} :			
Finlande, Islande, Norvège, Suède	0,70	0,50	0,20
Autres États Membres CEN, pour lieux situés à une altitude $H > 1\,000$ m a.n.m.	0,70	0,50	0,20
Autres États Membres CEN, pour lieux situés à une altitude $H \leq 1\,000$ m a.n.m.	0,50	0,20	0
Charges dues au vent sur les bâtiments (voir EN 1991-1-4)	0,6	0,2	0
Température (hors incendie) dans les bâtiments (voir EN 1991-1-5)	0,6	0,5	0
NOTE Les valeurs des coefficients ψ peuvent être données dans l'Annexe Nationale.			
a) Pour des pays non mentionnés dans ce qui suit, se référer aux conditions locales appropriées.			

Nous sommes dans un bâtiment catégorisé B, nous avons donc $\varphi = 0.8$.

Récapitulatif des coefficients sur les masses :

$$\Rightarrow \text{Neige : } \psi_e = \varphi \times \psi_2 = 0.8 \times 0 = 0$$

$$\Rightarrow \text{Bâtiment : } \psi_e = \varphi \times \psi_2 = 0.8 \times 0.3 = 0.24$$

Dans le but de simplifier le modèle de calcul au séisme, les charges de neige seront différenciées des charges d'exploitation mais il n'a été retenu qu'un seul cas de charge d'exploitation pour le calcul de la masse modale. Ainsi, le coefficient de 0.24 sera appliqué à l'ensemble des cas de charges d'exploitation.

La masse modale prise en compte dans le calcul est donc : $G + 0.24 Q$

Combinaisons d'actions pour vérifications en situation sismique

Les efforts sont à combiner selon l'Eco 6.4.3.4, qui donne les combinaisons d'actions à prendre en compte pour le dimensionnement des ouvrages :

$$\Rightarrow \sum G_{k,j} + A_{Ed} + \sum T_{2,i} Q_{k,i}$$

Avec $\psi_{2,i}$ voir au-dessus ; A_{Ed} est défini selon EC8-1 4.3.3.5.1

On obtient alors les 8 combinaisons élémentaires suivantes :

$$\Rightarrow 101 : \quad Ex + 0.3 Ey$$

$$\Rightarrow 102 : \quad - Ex - 0.3 Ey$$

$$\Rightarrow 103 : \quad Ex - 0.3 Ey$$

$$\Rightarrow 104 : \quad - Ex + 0.3 Ey$$

$$\Rightarrow 105 : \quad 0.3 Ex + Ey$$

$$\Rightarrow 106 : \quad -0.3 Ex - Ey$$

$$\Rightarrow 107 : \quad 0.3 Ex - Ey$$

$$\Rightarrow 108 : \quad -0.3 Ex + Ey$$

Avec selon l'EC8-1 4.3.3.3.2 :

E_x = effet de l'action sismique suivant l'axe X du repère principal

E_y = effet de l'action sismique suivant l'axe Y du repère principal

La liste des combinaisons à considérer dans l'analyse est :

- ⇒ 109 : G + 101
- ⇒ 110 : G + 102
- ⇒ 111 : G + 103
- ⇒ 112 : G + 104
- ⇒ 113 : G + 105
- ⇒ 114 : G + 106
- ⇒ 115 : G + 107
- ⇒ 116 : G + 108
- ⇒ 117 : G + 101 + 0.8 Q
- ⇒ 118 : G + 102 + 0.8 Q
- ⇒ 119 : G + 103 + 0.8 Q
- ⇒ 120 : G + 104 + 0.8 Q
- ⇒ 121 : G + 105 + 0.8 Q
- ⇒ 122 : G + 106 + 0.8 Q
- ⇒ 123 : G + 107 + 0.8 Q
- ⇒ 124 : G + 108 + 0.8 Q

Liaisons horizontales entre fondations

Selon l'EC8-1 5.8.2 et AN, des longrines de section minimale 15x20 cm² relient les fondations (cas d'un bâtiment de 3 étages). Le pourcentage minimal d'aciers est :

$$\rho_{b,min} = \max [0.4\% \text{ et } 3 \text{ cm}^2].$$

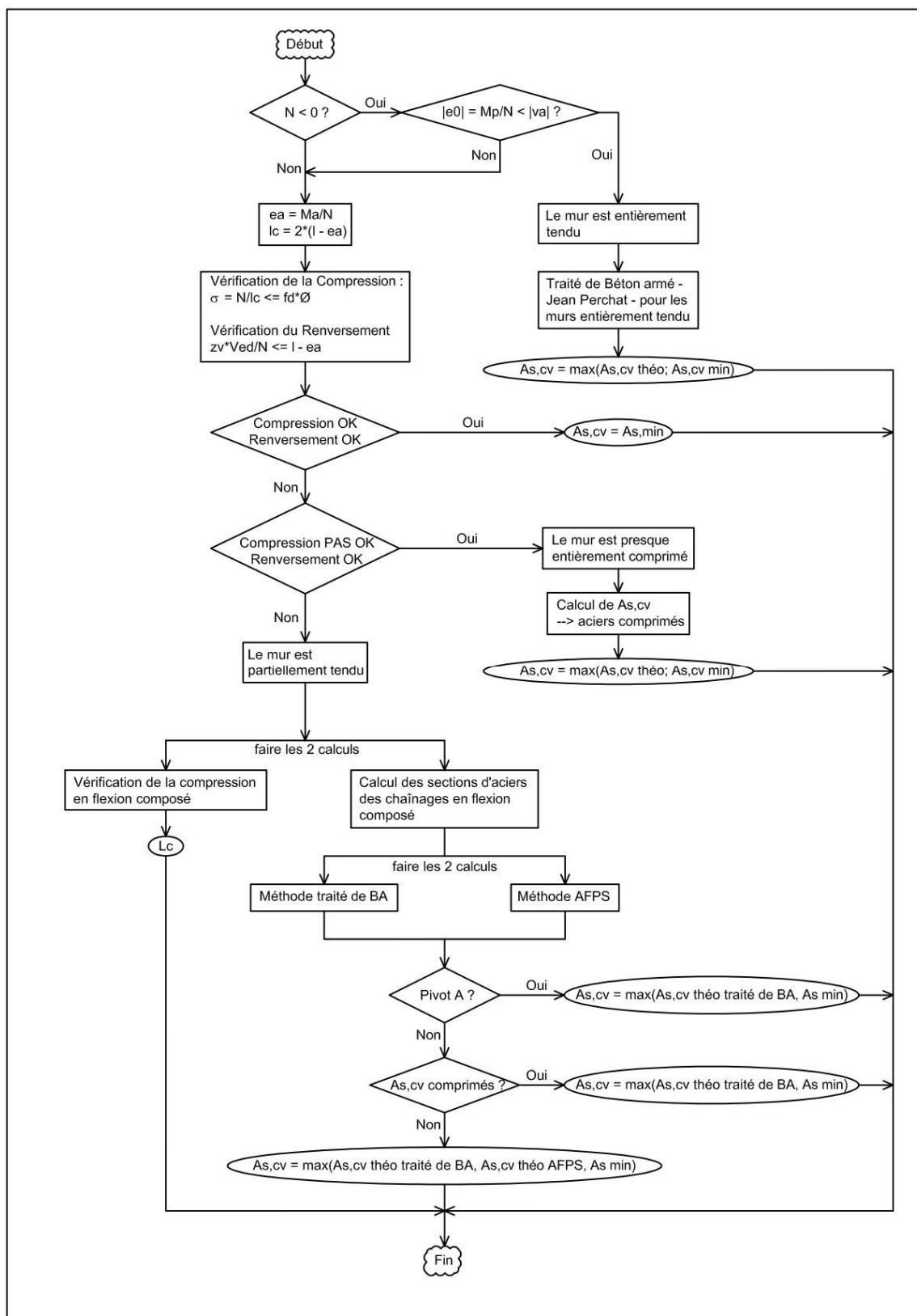
3.6. Méthode de dimensionnement

Les vérifications à effectuer sont les suivantes :

- Vérification de la compression et du flambement du mur.
- Vérification du contreventement, selon 2 méthodes possibles :
 - Une méthode de vérification de la bielle selon le PS92 et le DTU20.1
 - Une méthode de flexion composée selon le cahier technique n°42 de l'AFPS, le guide de dimensionnement des ouvrages en maçonnerie (afnor éditions) et le Traité de béton armé – Jean Perchat

A noter que la méthode de flexion composé permet de réaliser une vérification de la résistance en compression ainsi que du flambement du voile étudié.

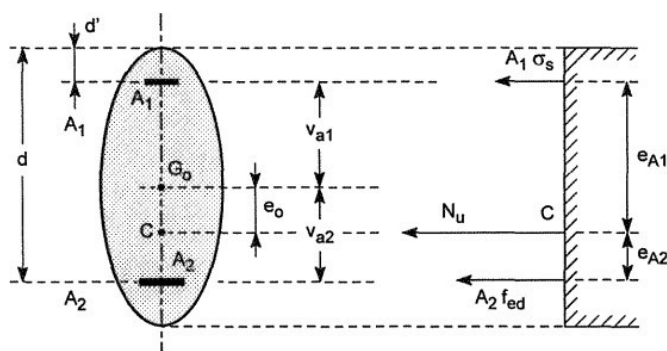
Le logigramme relatif à la méthode en flexion composée est le suivant :



Avec :

- Pour les murs en traction :

Extrait du traité de béton armé – Jean PERCHAT pour les murs entièrement tendus.

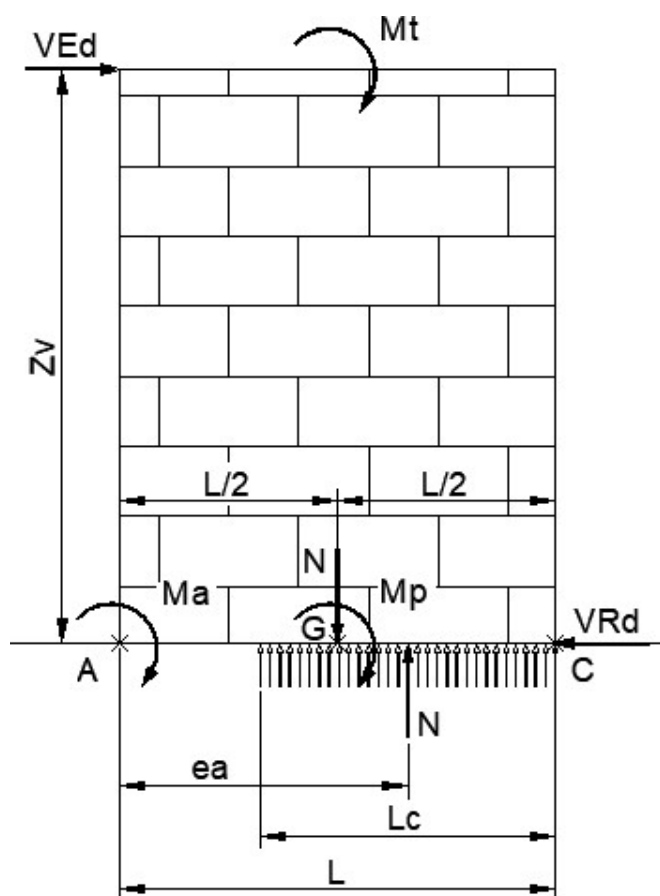


Avec :

- A1 et A2, les sections d'aciers des chaînages verticaux
- e0, la position de la résultante de traction par rapport au centre de gravité G0
- ea, la distance entre le chaînage et la résultante

- Pour les murs partiellement tendus :

Sur la base des schémas du guide de dimensionnement des ouvrages en maçonnerie (afnoréditiions).



Avec :

- Ved, l'effort horizontal en tête
- Mt, le moment en tête au centre de gravité G
- N, l'effort normal en pied au centre de gravité G
- Mp, le moment en pied au centre de gravité G → $M_t = M + V_{Ed} \cdot Z_v$
- Ma, le moment autour du point A → $M_a = M_t + N \cdot L/2$
- Lc, la longueur comprimée du mur
- ea, la position de la résultante de compression

Pour l'utilisation de cette méthode :

- Lorsque l'effort normal $N < 0$ (traction) nous vérifions si le mur est totalement tendu
- Lorsque l'effort normal $N > 0$ (compression), nous réalisons 2 vérifications pour les **murs de maçonnerie non chaînés : compression + basculement**. Nous différencions 3 cas :
 - Compression → OK + Basculement → OK = le mur est stable et la section d'aciers à mettre en œuvre dans les chaînages verticaux est la section minimale
 - Compression → PAS OK + Basculement → OK = une vérification de la compression doit être réalisée en prenant en compte une section d'acier comprimée
 - Compression → OK ou PAS OK + Basculement → PAS OK = une vérification du mur en flexion composée doit être réalisée pour vérifier la compression et le flambement et pour dimensionner les sections d'aciers dans les chaînages verticaux

3.7. Modèle A : béton de bois

3.7.1. Axonométries

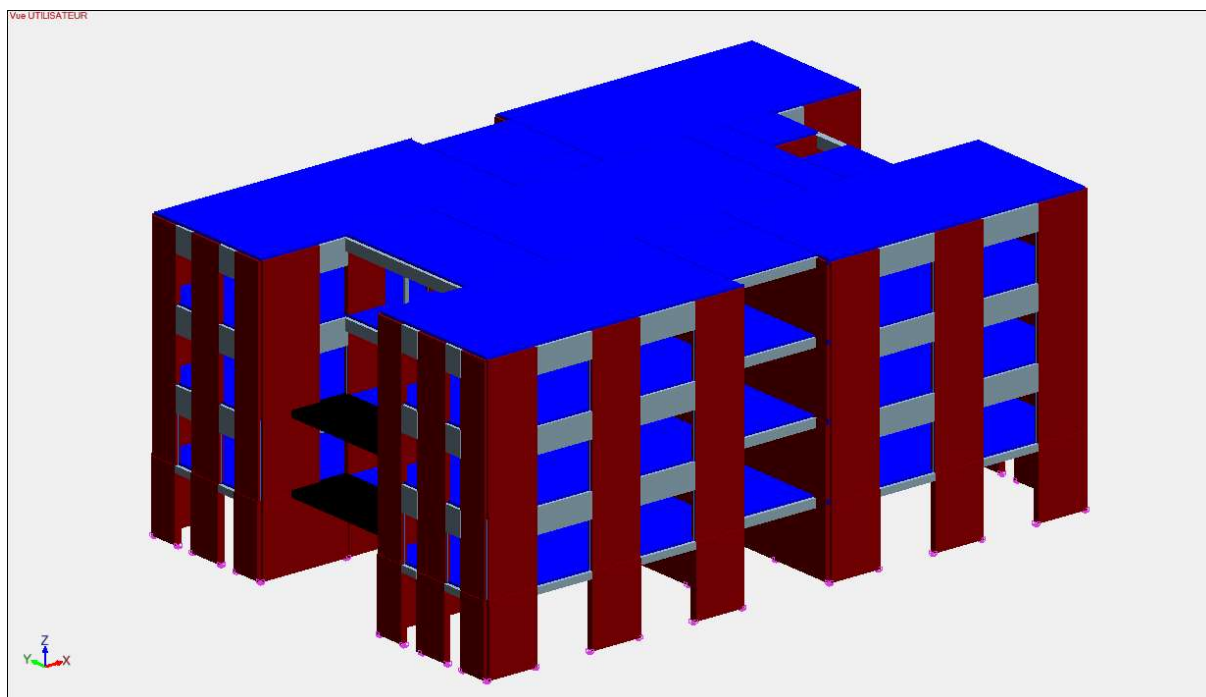


Fig. 5 – Modèle béton de bois CS2 - Axonométrie 1

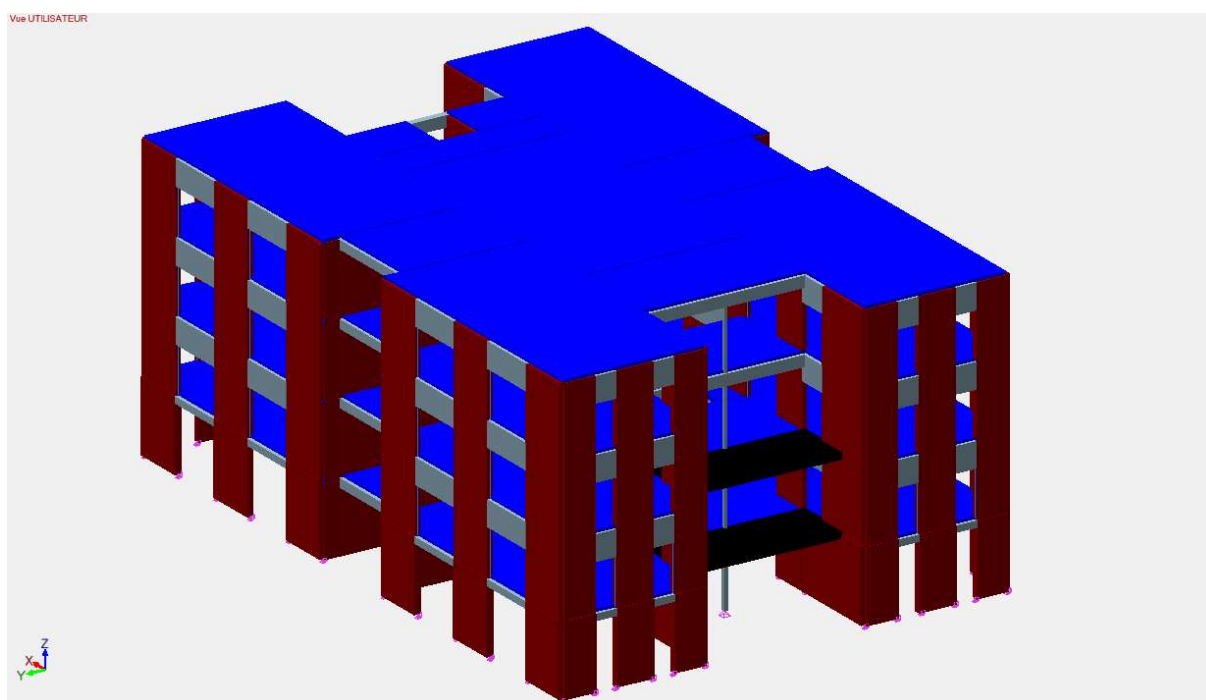


Fig. 6 – Modèle béton de bois CS2 - Axonométrie 2

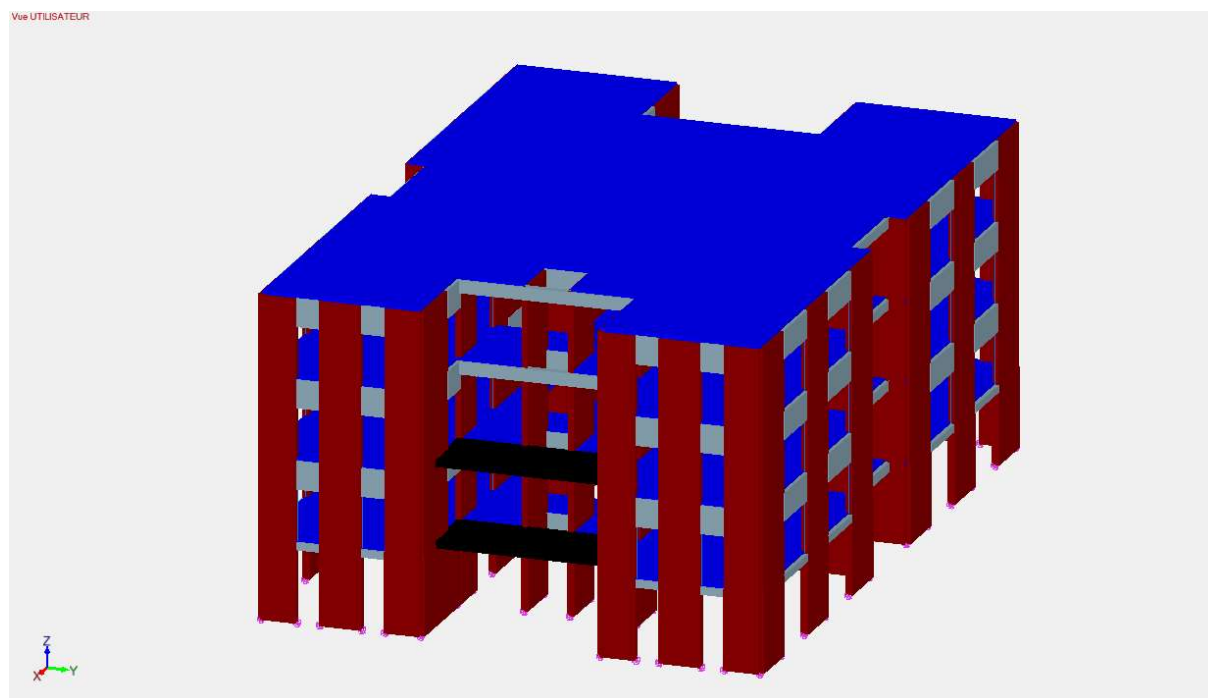


Fig. 7 – Modèle béton de bois CS2 - Axonomie 3

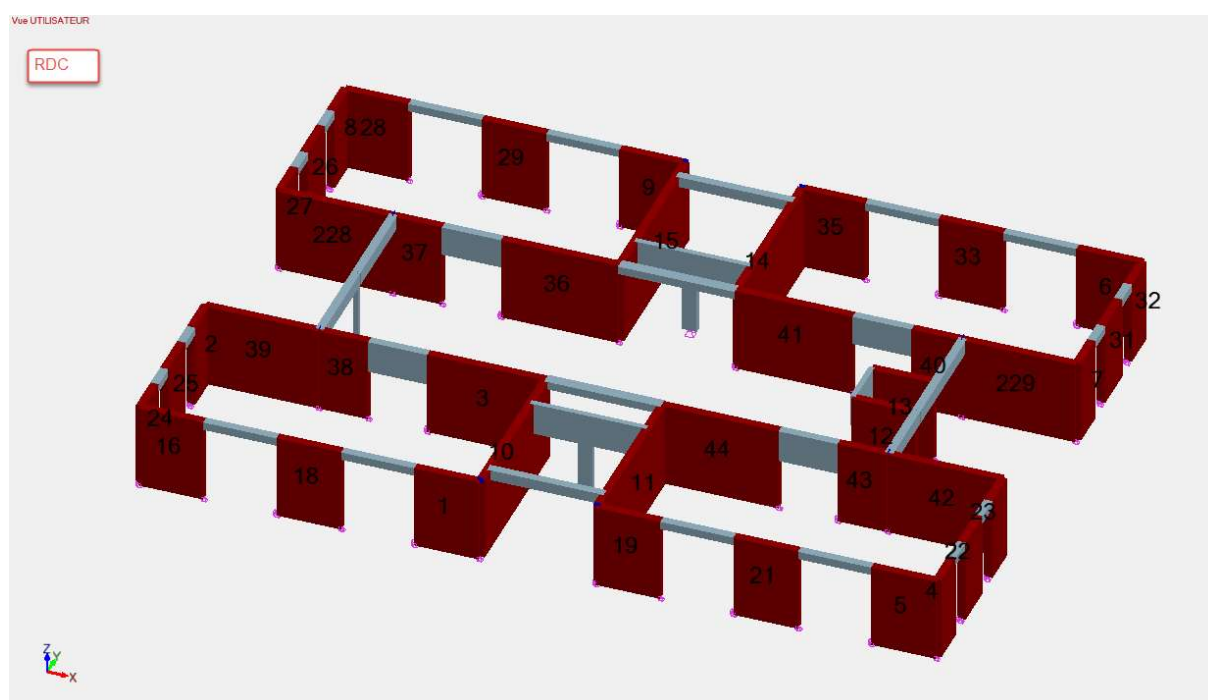


Fig. 8 – Modèle béton de bois CS2 – Vue RDC avec nomenclature

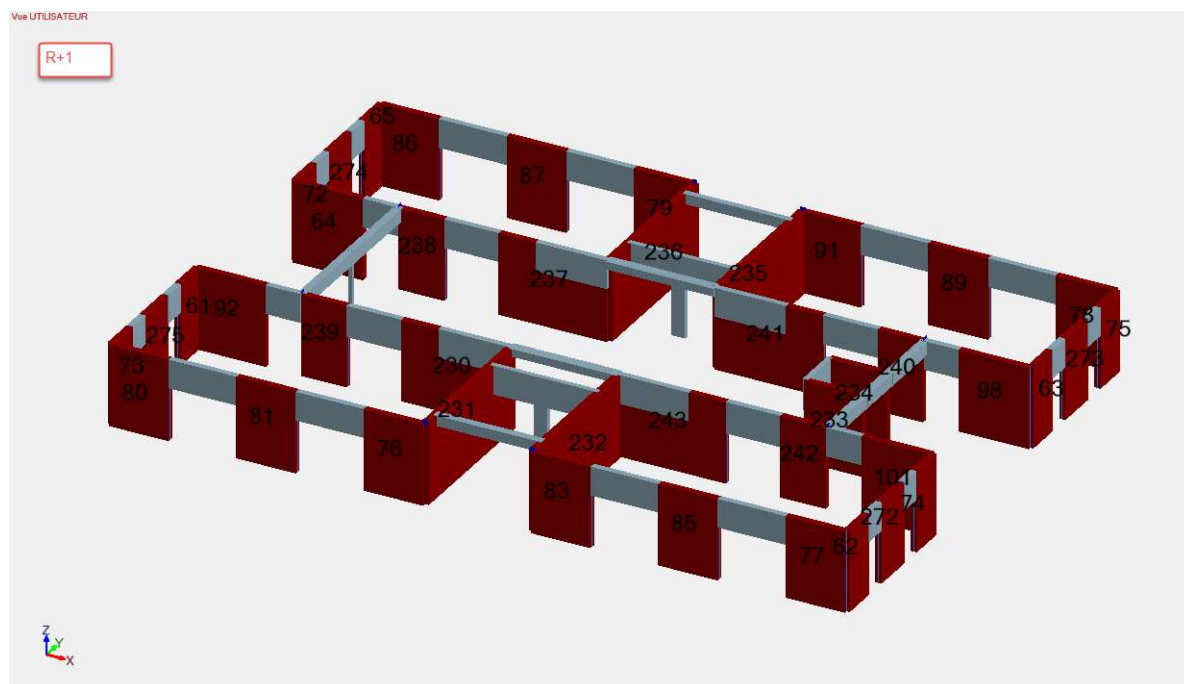


Fig. 9 – Modèle béton de bois CS2 – Vue R+1 avec nomenclature

(Nomenclature complète disponible en Annexe 1)

3.7.2. Rappel des hypothèses de l'analyse sismique

- Modélisation : Voiles béton de bois et dalles béton armé modélisées par des coques.

NOTA : Pour l'étude sismique, on considère un coefficient d'amortissement du béton égal à 5%, et un module moyen du béton $E = E_{ct}/2$ pour considérer les sections fissurées et enfin un coefficient de Poisson $\nu = 0$. (§4.3.1(7) EC8.1).

- Altitude (point le plus haut) : ≈ 280 m NGF
- Spectre : Calcul Type
- Zone de sismicité : 4 (moyenne - $a_{gr} = 1.6$ m/s²)
- Classe de sol : Zone C
- Accélération horizontale du sol $a_{g/g}$: 0.163
- Paramètre du sol (S) : 1.50
- Période T_B : 0.06 s
- Période T_C : 0.40 s
- Période T_D : 2.00 s
- Catégorie d'importance : Catégorie II ($\gamma I = 1.0$)
- Coefficient de comportement :

X : 2.500 ET Y : 2.500

- Coefficient d'amplification topographique : 1.00
- Présence du mode résiduel : OUI
- Méthode : CQC
- Signature des résultats :
 - Direction X (analyse 3) : Non signé
 - Direction Y (analyse 4) : Non signé

3.7.3. Vérification des modes : excitation des masses

Valeurs modales							
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Masses modales		Amortissement (%)
					X T (%)	Y T (%)	
1	12.67	0.50	2.02	80.19	0.00 (0.00)	1316.91 (77.57)	5
2	13.60	0.46	2.16	92.45	0.00 (0.00)	1.35 (0.08)	5
3	14.79	0.42	2.35	109.27	1296.35 (76.35)	0.00 (0.00)	5
4	38.60	0.16	6.14	744.57	0.00 (0.00)	185.36 (10.92)	5
5	38.81	0.16	6.18	752.65	0.00 (0.00)	5.27 (0.31)	5
6	39.08	0.16	6.22	762.91	2.03 (0.12)	0.02 (0.00)	5
7	39.43	0.16	6.27	776.67	0.00 (0.00)	80.61 (4.75)	5
8	39.46	0.16	6.28	778.11	0.03 (0.00)	1.81 (0.11)	5
9	42.51	0.15	6.77	902.84	17.55 (1.03)	0.00 (0.00)	5
10	42.74	0.15	6.80	913.20	0.00 (0.00)	0.04 (0.00)	5
11	44.73	0.14	7.12	999.24	9.57 (0.56)	0.00 (0.00)	5
12	47.12	0.13	7.50	1108.97	190.25 (11.21)	0.00 (0.00)	5
13	47.68	0.13	7.59	1135.89	3.95 (0.23)	0.00 (0.00)	5
14	48.41	0.13	7.71	1171.16	0.72 (0.04)	0.00 (0.00)	5
15	48.47	0.13	7.71	1174.25	22.17 (1.31)	0.00 (0.00)	5
16	49.29	0.13	7.84	1213.71	0.00 (0.00)	0.02 (0.00)	5
17	49.58	0.13	7.89	1228.08	0.00 (0.00)	0.01 (0.00)	5
18	50.06	0.13	7.97	1252.29	0.00 (0.00)	0.04 (0.00)	5
19	50.10	0.13	7.97	1254.48	0.03 (0.00)	0.00 (0.00)	5
20	50.37	0.12	8.02	1268.12	0.00 (0.00)	0.02 (0.00)	5
résiduel					155.15 (9.14)	106.34 (6.26)	
Total				17719.04	1697.81 (100.00)	1697.81 (100.00)	

Tableau 4 - Masses modales (modèle A)

Au bout de 6 modes, le cumul des masses modales est supérieur à 90% de la masse totale.

Les modes principaux suivant X sont les modes 3 et 12.

Les modes principaux suivant Y sont les modes 1 et 4.

La réponse du modèle aux actions sismiques se fait selon des modes de translations (pas d'effet de torsion car indépendance des modes principaux selon X et Y).

3.7.4. Vérification des déplacements entre étages

Dans le cadre de vérifications sismiques, l'analyse des déplacements relatifs entre niveaux doit être menée.

Le déplacement différentiel ne doit pas être supérieur à $d_r \leq 0.005h/v$ (éléments non structuraux composés de matériaux fragiles fixés à la structure – EC8 §4.4.3.1).

Le coefficient de réduction v permet de prendre en compte une période de retour de l'action sismique plus petite pour le critère de limitation de dommages (10ans). Il vaut $v=0.4$ quelle que soit la catégorie d'importance du bâtiment.

Suivant l'EC8 §4.3.4 : $d_s = q_d \times d_e \leq d_r$, la limite de déplacement est donc : $d_{(s,lim)} = d_r / q$.

Du fait d'une structure composée par des voiles CS2 au comportement ductile (béton de bois plus souple que du béton armé), les déplacements de la structure sous sollicitation sismique sont à prendre en compte. Dans notre cas, les critères de déplacements relatifs entre niveaux sont bien respectés.

Vérification des déplacements relatifs entre étages pour les combinaisons sismiques											
Nom Étage	N° Étage	Combinaison	Code	N° Noeud	Déplacement relatif X (cm)	Déplacement relatif Y (cm)	Déplacement relatif (cm)	Coefficient de réduction	Déplacement relatif par étage (cm)	Déplacement relatif admissible (cm)	Vérification
R+3	4	124	ELU	20630	0.26	0.96	0.99	0.40	0.40	1.58	Correct
R+2	3	123	ELU	12381	0.34	1.16	1.21	0.40	0.48	1.58	Correct
R+1	2	116	ELU	6713	0.35	1.15	1.20	0.40	0.48	1.58	Correct
RDC	1	121	ELU	5201	0.19	0.81	0.83	0.40	0.33	1.58	Correct

Tableau 5 - Déplacements relatifs entre étages (modèle A)

3.7.5. Déplacements différentiels : joint de dilatation

Dans le cas d'un bâtiment comprenant plusieurs blocs séparés par un joint de dilatation, il y a lieu de vérifier le déplacement entre blocs, qui correspond à une condition de non-entrechoquement sous sollicitation sismique.

Dans notre cas de figure, un seul bloc constitue le modèle ; ainsi, il n'y aurait pas lieu de vérifier les déplacements différentiels entre blocs.

A titre d'exemple : une simulation reprenant 2 blocs identiques, positionnés de manière accolée selon la direction X donnerait lieu aux vérifications suivantes :

$$d_{min} = \sqrt{(U_{1,x,max})^2 + (U_{2,x,max})^2}$$

$$U_{1,x,max} = U_{2,x,max} = 3.42\text{cm}$$

D'après EC8 §4.4.2.7 §(3), si les niveaux de planchers sont identiques entre les 2 bâtiments étudiés, la distance d_{min} du joint de dilatation peut être réduite par 0,7.

Ainsi, il en vient : $d_{min} = 4.83 \times 0.7 = 3.38\text{cm}$ soit un joint de dilatation $\geq 4\text{cm}$.

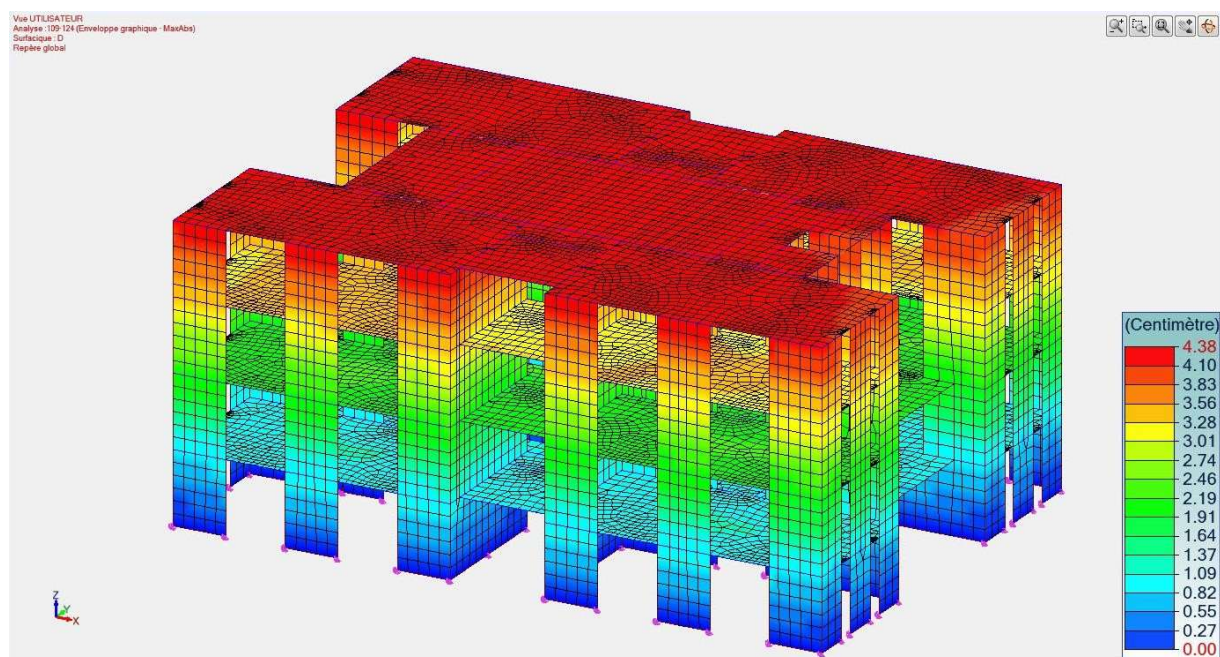


Fig. 10 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée globale D

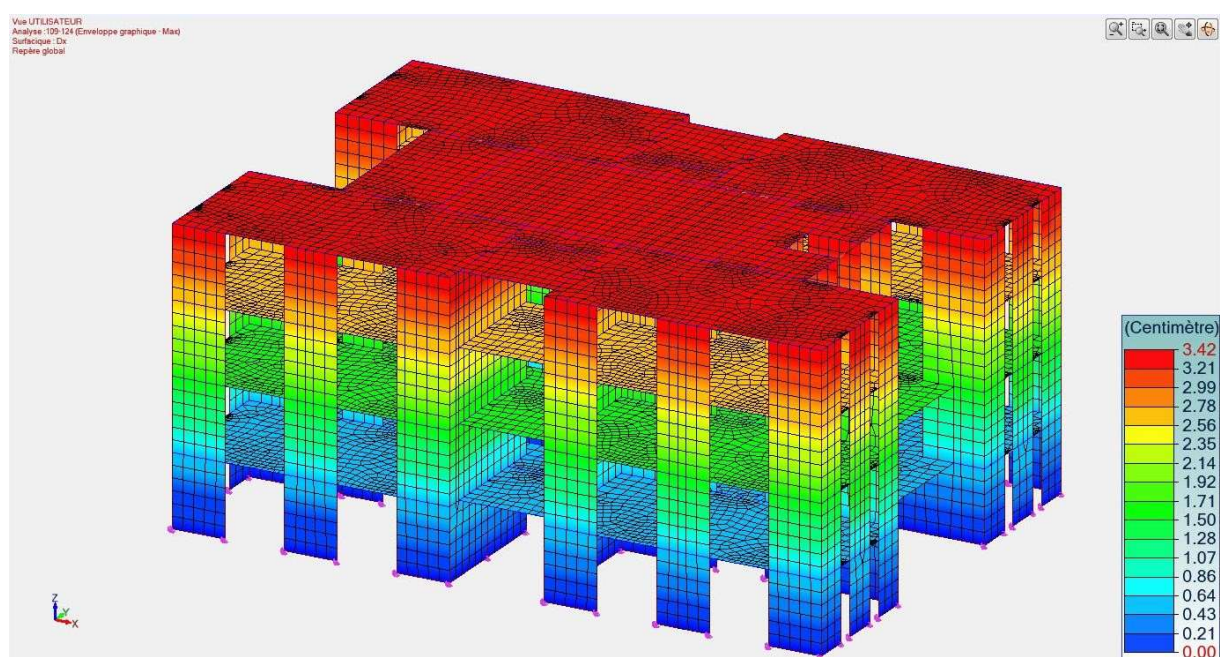


Fig. 11 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée Dx selon direction X

3.7.6. Résultats

Résultats généraux

CONCLUSION :

Les résultats présentés dans l'annexe 3 confirment que tous les critères de vérification sous séisme sont validés.

Présentations des cas rencontrés pour la vérification du contreventement

Il est possible de rencontrer 4 cas différents pour la vérification en flexion composé en fonction des géométries des murs et des chargements.

Les voiles étudiés sont les suivants :

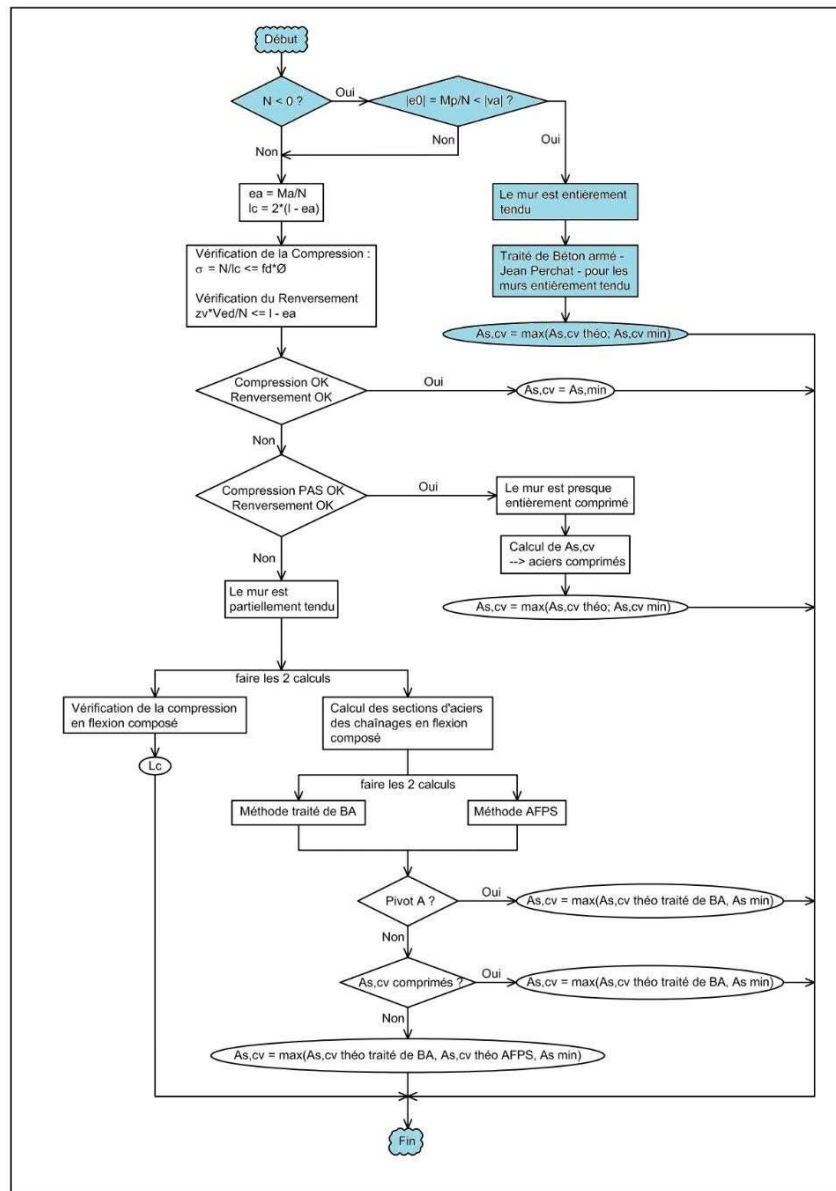
Voiles				Critères géométriques			
				Disposition	Bielle	AFPS CT42	
Voile n°	H	L	t	$L \leq 5 \text{ m}$	$1/2 \leq H/L \leq 2$	$L/H \geq 0,4$	$H_{ef}/t_{ef} \leq 20$
-	m	m	m	m	-	-	-
2	3,15	1,60	0,30	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
4	3,15	1,60	0,30	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
5	3,15	2,30	0,30	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI
23	3,15	1,60	0,30	VRAI	VRAI	VRAI	VRAI

Les critères géométriques sont respectés.

Voile n°2

Chargement					Données mur				Vérifications			
N	V	M	Mp	Ma	H = Zv	L	t	Φ	Mur entièrement tendu si $ e_0 < (d-d')/2$	Compression OK si $\sigma \leq f_d$	Risque de basculement si $M_p/N \leq l - e_a$	Mur tout tendu --> 0 Comp OK + Basc OK --> 1 Comp OK/NOK + Basc NOK --> 2 Comp NOK + Basc OK --> 3
kN	kN	kN,m	kN,m	kN,m	m	m	m	-				
-28	4	4	15	-7	3,15	1,60	0,30	0,6	OUI			0

Nous sommes dans la configuration suivante :

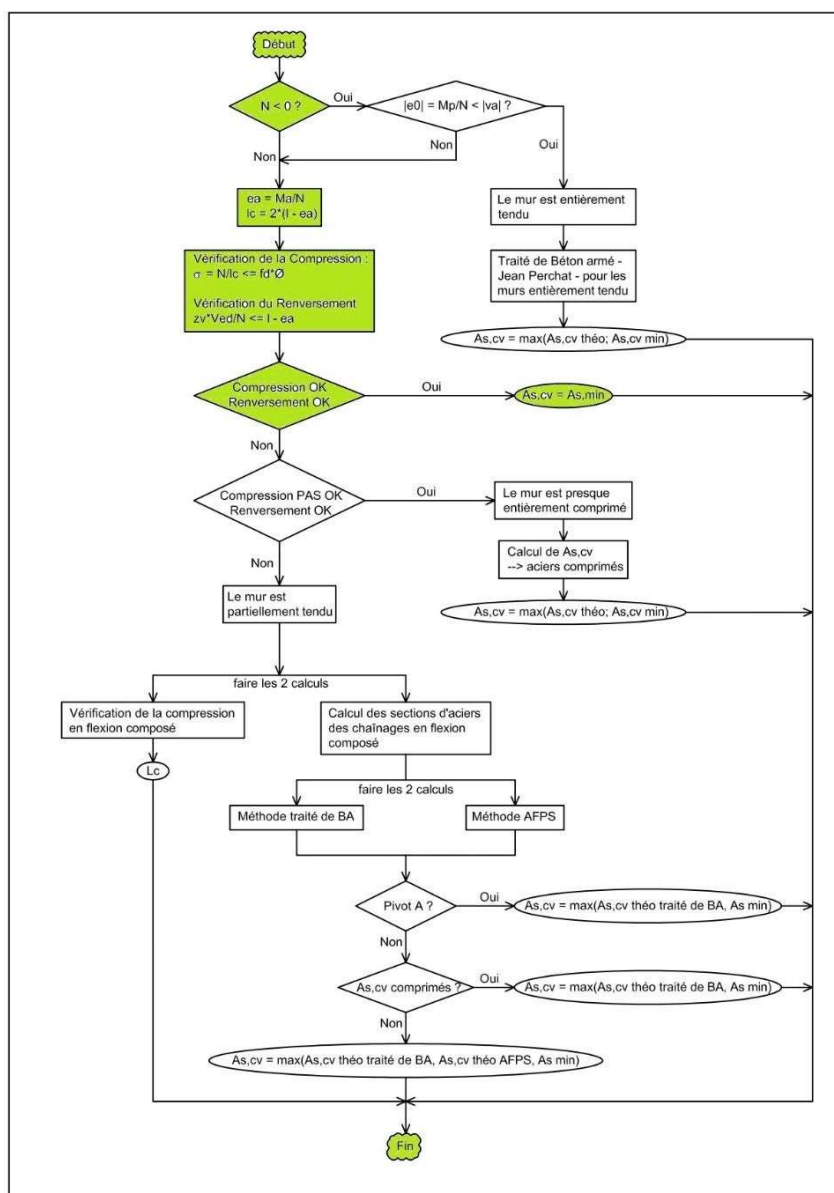


Pour ce voile, la section d'acier théorique à mettre en œuvre dans les chaînages verticaux est de 0.48 cm². Nous retiendrons donc la valeur minimale des dispositions constructives.

Voile n°4

Chargement					Données mur				Vérifications			
									Mur entièrement tendu si $ e_0 < (d-d')/2$	Compression OK si $\sigma_d \leq f_{cd}$	Risque de basculement si $M_p/N \leq l - e_a$	Mur tout tendu $\rightarrow 0$ Comp OK + Basc OK $\rightarrow 1$ Comp OK/NOK + Basc NOK $\rightarrow 2$ Comp NOK + Basc OK $\rightarrow 3$
N	V	M	Mp	Ma	H = Zv	L	t	Φ				
kN	kN	kN,m	kN,m	kN,m	m	m	m	-				
304	1	9	11	254	3.15	1.60	0.30	0.6		OK	OK	1

Nous sommes dans la configuration suivante :

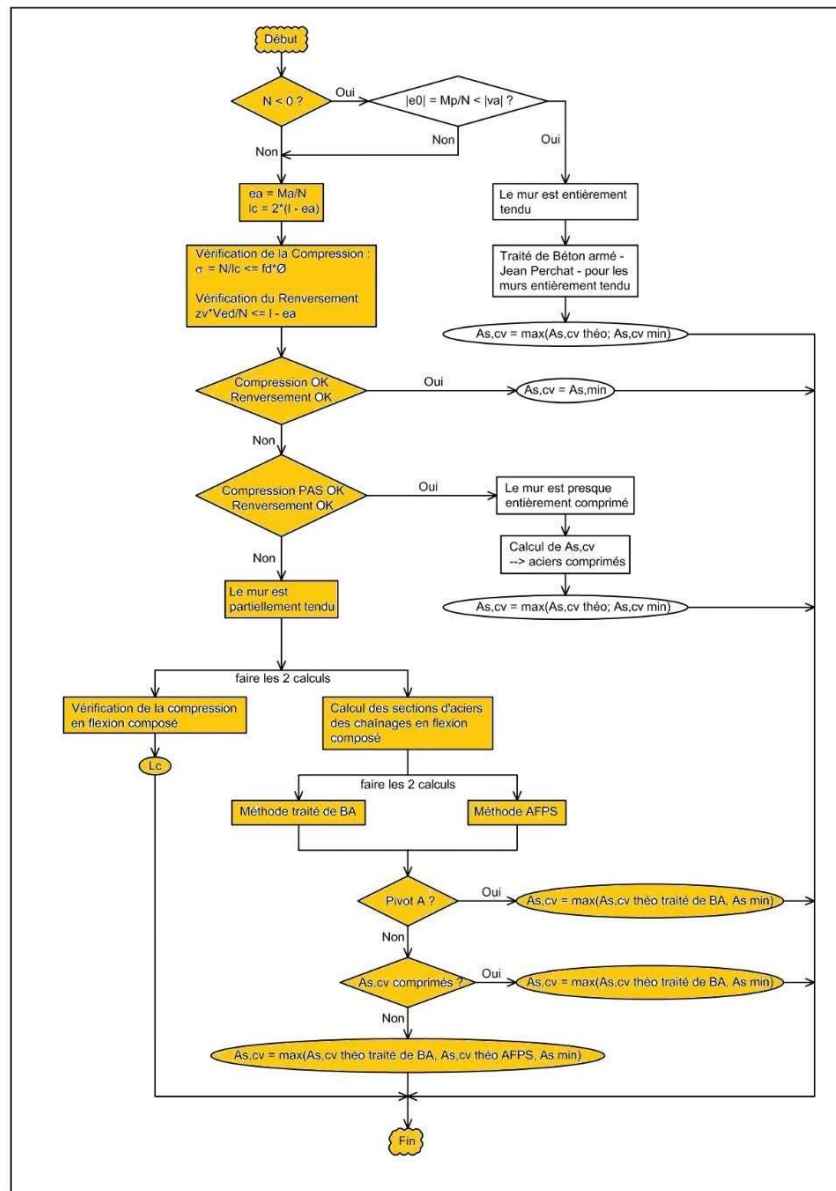


Pour ce voile, la section d'acier théorique à mettre en œuvre dans les chaînages verticaux est de 0.00 cm². Nous retiendrons donc la valeur minimale des dispositions constructives.

Voile n°5

Chargement					Données mur				Vérifications			
N	V	M	Mp	Ma	H = Zv	L	t	Φ	Mur entièrement tendu si $ e_0 < (d-d')/2$	Compression OK si $\sigma_d \leq f_{cd}$	Risque de basculement si $M_p/N \leq l - e_a$	Mur tout tendu --> 0 Comp OK + Basc OK --> 1 Comp OK/NOK + Basc NOK --> 2 Comp NOK + Basc OK --> 3
kN	kN	kN,m	kN,m	kN,m	m	m	m	-				
243	67	10	220	500	3,15	2,30	0,30	0,6		NO OK	NO OK	2

Nous sommes dans la configuration suivante :

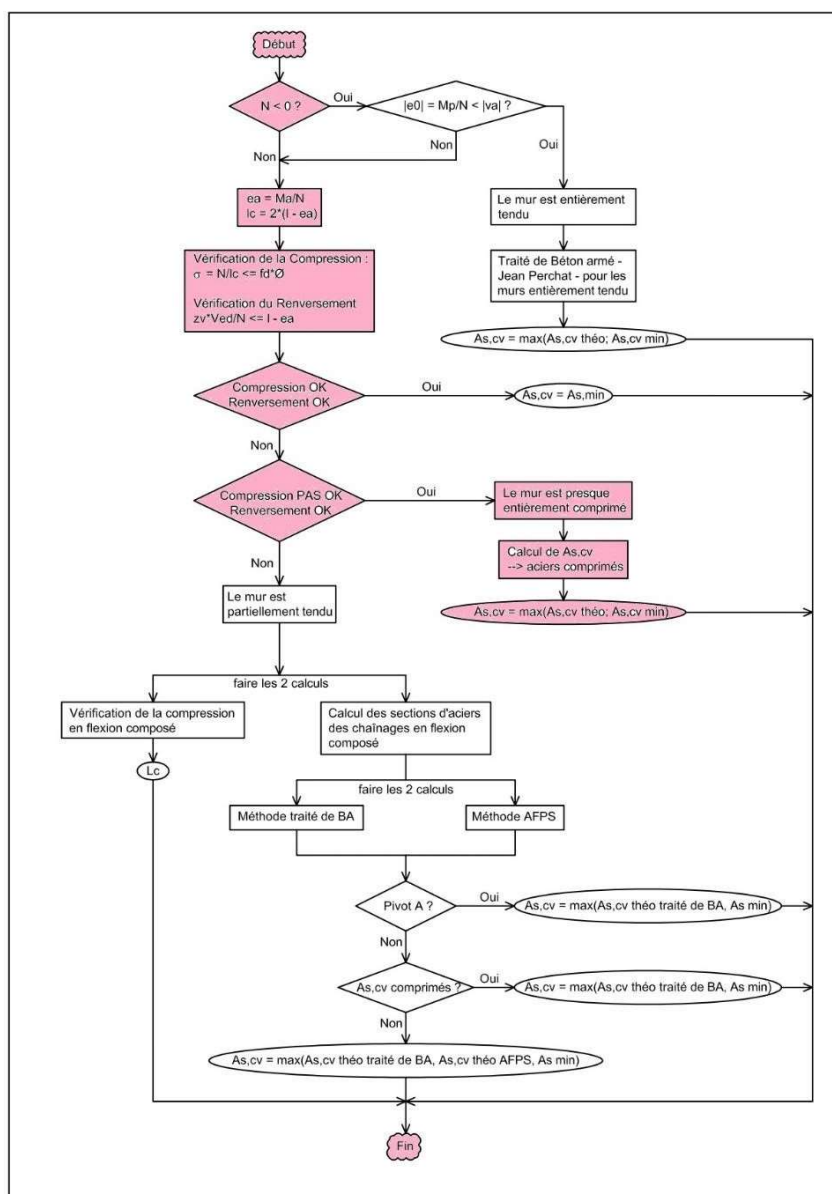


Pour ce voile, la section d'acier théorique à mettre en œuvre dans les chaînages verticaux est de 0.51 cm². Nous retiendrons donc la valeur minimale des dispositions constructives.

Voile n°23

Chargement					Données mur				Vérifications			
N	V	M	Mp	Ma	H = Zv	L	t	Φ	Mur entièrement tendu si $ e0 < (d-d')/2$	Compression OK si $od \leq fd$	Risque de basculement si $Mp/N \leq l - ea$	Mur tout tendu --> 0 Comp OK + Basc OK --> 1 Comp OK/NOK + Basc NOK --> 2 Comp NOK + Basc OK --> 3
kN	kN	kN,m	kN,m	kN,m	m	m	m	-				
400	47	11	159	479	3,15	1,60	0,30	0,6		NO OK	OK	3

Nous sommes dans la configuration suivante :



Pour ce voile, la section d'acier théorique à mettre en œuvre dans les chaînages verticaux est de 1.19 cm². Nous retiendrons donc la valeur minimale des dispositions constructives.

Justification des voiles au cisaillement : cas particuliers

Dans certains cas, certains voiles ne peuvent être justifiés au cisaillement. Pour cet exemple, c'est le cas des voiles 230, 237, 241, 243, 248, 250, 255 et 257 où le taux de travail du mur est de environ 110%.

L'Eurocode 8 indique pour un calcul de maçonnerie :

9.4 Analyse de la structure

(1) P Le modèle de structure pour l'analyse du bâtiment doit être représentatif de la rigidité du système, dans son ensemble.

(2) P La rigidité des éléments de structure doit être évaluée en prenant en compte leur déformabilité en flexion et au cisaillement et, si nécessaire, vis-à-vis de l'effort normal. La rigidité élastique non fissurée peut être utilisée pour l'analyse ou, de préférence et de manière plus réaliste, la rigidité fissurée, afin de tenir compte de l'influence de la fissuration sur les déformations et de mieux évaluer la pente de la première branche du modèle bilinéaire force-déformation pour l'élément de structure.

(3) En l'absence d'évaluation précise des propriétés de rigidité, démontrée par une analyse précise, la rigidité fissurée en flexion et au cisaillement peut être prise comme la moitié de la rigidité élastique non fissurée de la section brute.

(4) Dans le modèle de structure, la maçonnerie harpée peut être prise en compte comme participant au linteau entre deux éléments de mur, si elle est liée de façon continue aux murs adjacents et si est liaisonnée au chaînage du plancher ainsi qu'au linteau situé en dessous.

(5) Si le modèle de structure prend en compte les linteaux, une analyse en portique peut être utilisée pour déterminer les effets des actions dans les éléments verticaux et horizontaux de la structure.

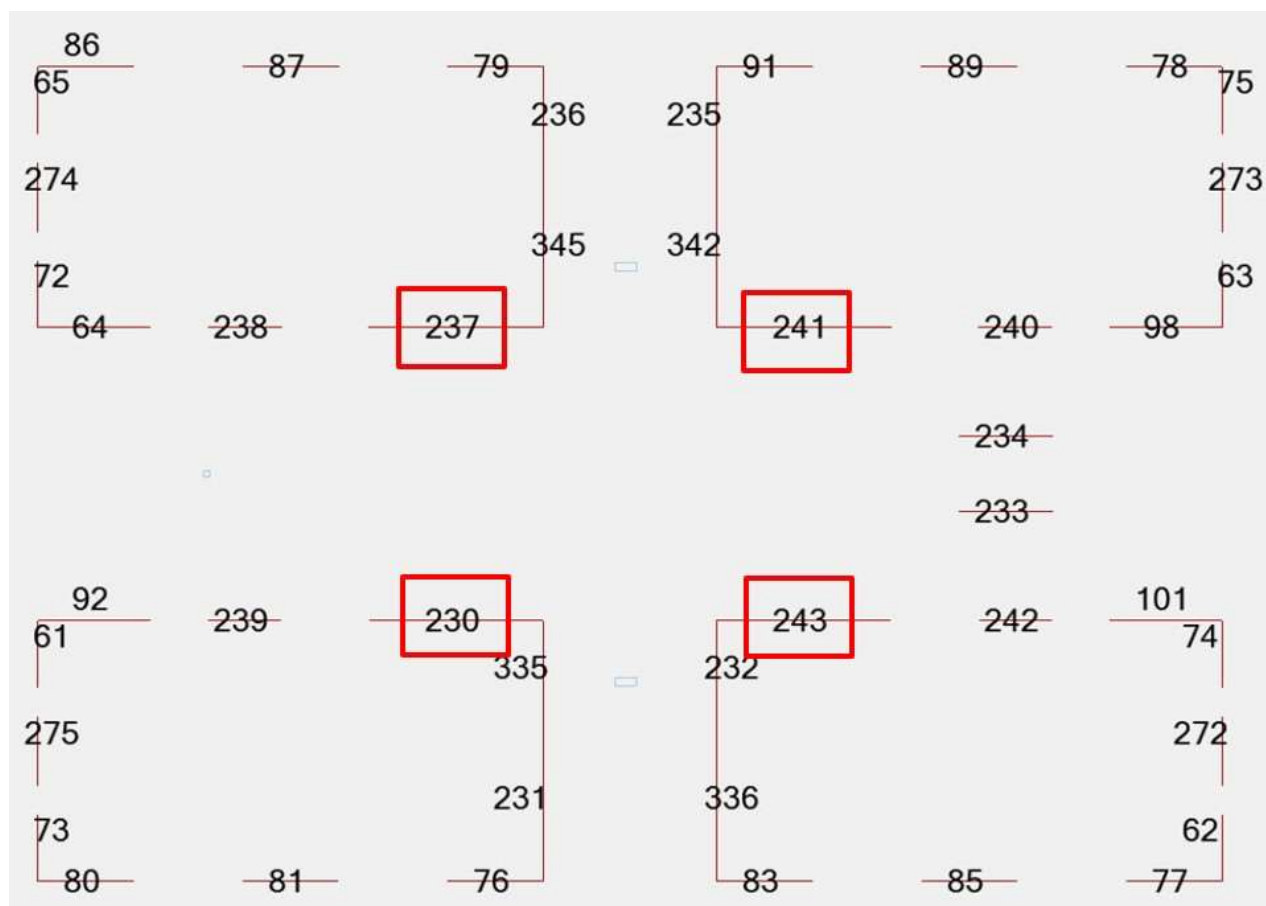
(6) La répartition de l'effort tranchant à la base entre les différents murs, obtenue par l'analyse linéaire décrite dans l' Article 4 , peut être modifiée, à condition que :

a. l'équilibre global soit respecté (c'est-à-dire que le même effort tranchant total à la base et la même position de la résultante sont obtenus) ;

b. l'effort tranchant des différents murs n'est pas réduit de plus de 25 % ni augmenté de plus de 33 % ; et

c. les conséquences de la redistribution sur le ou les diaphragmes sont prises en compte.

Par la suite nous essayerons de justifier les voiles 230, 237, 241 et 243 selon la méthode proposée ci-dessus. Dans un cas réel, l'ensemble des voiles doivent être vérifiés.



Afin de simplifier cette vérification, nous faisons l'hypothèse suivante :

La distribution des efforts ne peut se faire que sur des voiles qui sont sur la même file que le voile étudié, cela permet d'éviter de justifier les points a. et c. de l'EC8

§9.4 (6).

Voiles qui ne vérifient pas le cisaillement :

Données d'entrée								
N° du voile	τ (%)	VEd (kN)	VRd (kN)	Effort mini à redistribuer (%)	Effort mini à redistribuer (kN)	possibilité de redistribuer ?	Section d'acier dans le chaînage en traction	Section d'aciers dans le Ch suffisante ?
230	111%	347	313	11%	34	OUI	0,785	OUI
237	110%	346	313	10%	33	OUI	0,751	OUI
241	112%	348	312	12%	36	OUI	0,829	OUI
243	111%	347	312	11%	35	OUI	0,801	OUI

Première vérification : le surplus d'effort à reprendre par voile ne doit pas dépasser la valeur de 33% de majoration des efforts de bases. (voir ci-dessous efforts mini à reprendre) :

Voiles à étudier				Vérification EC8 §9.4 (6)-b.			
Voile étudié	τ (%)	VEd (kN)	VRd (kN)	Effort total à reprendre (kN)	Effort par mur à reprendre (kN)	Effort mini à reprendre (%)	Possibilité de reprise des efforts ?
92	35%	78	224	34	17	22%	OUI
239	34%	61	179		17	28%	OUI
64	35%	78	224	33	16	21%	OUI
238	34%	62	179		16	27%	OUI
98	40%	88	219	36	18	20%	OUI
240	36%	61	169		18	30%	OUI
101	40%	88	219	35	17	20%	OUI
242	36%	61	170		17	29%	OUI

Seconde vérification ; Vérification du cisaillement avec les nouveaux efforts :

Vérification cisaillement				
Voile étudié	VEd (T)	VRd (T)	τ (%)	Vérification du taux de travail
92	95	224	42%	OUI
239	79	179	44%	OUI
64	95	224	42%	OUI
238	78	179	44%	OUI
98	106	219	48%	OUI
240	79	169	47%	OUI
101	105	219	48%	OUI
242	78	170	46%	OUI

Conclusions sur l'optimisation et remarques :

	Conclusions
Voile étudié	Possibilité de redistribuer les efforts sur les voiles de la même file ?
92	OUI
239	OUI
64	OUI
238	OUI
98	OUI
240	OUI
101	OUI
242	OUI

Remarque : il faut assurer une continuité de la section d'acier du chaînage de dalle entre les murs.

CONCLUSION :

Les critères de vérification sous séisme sont validés pour les voiles de l'ensemble du projet, selon la méthode présentée.

3.8. Modèle B : projet mixte béton armé/béton de bois

3.8.1. Axonométries

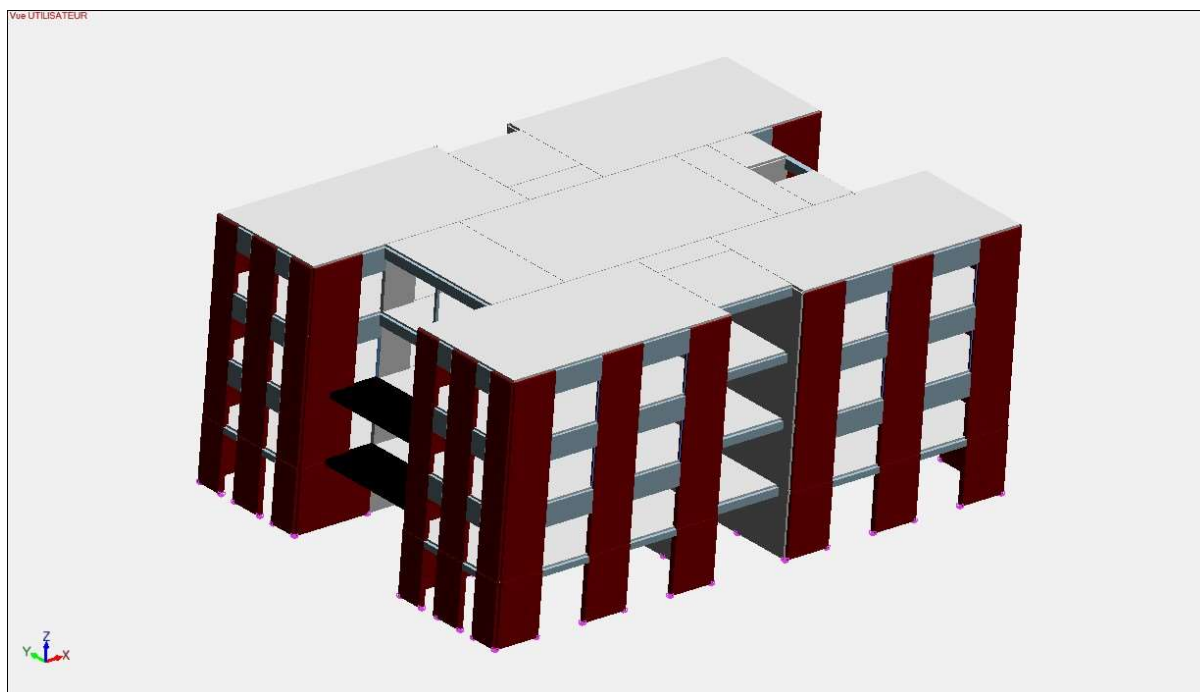


Fig. 12 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 1

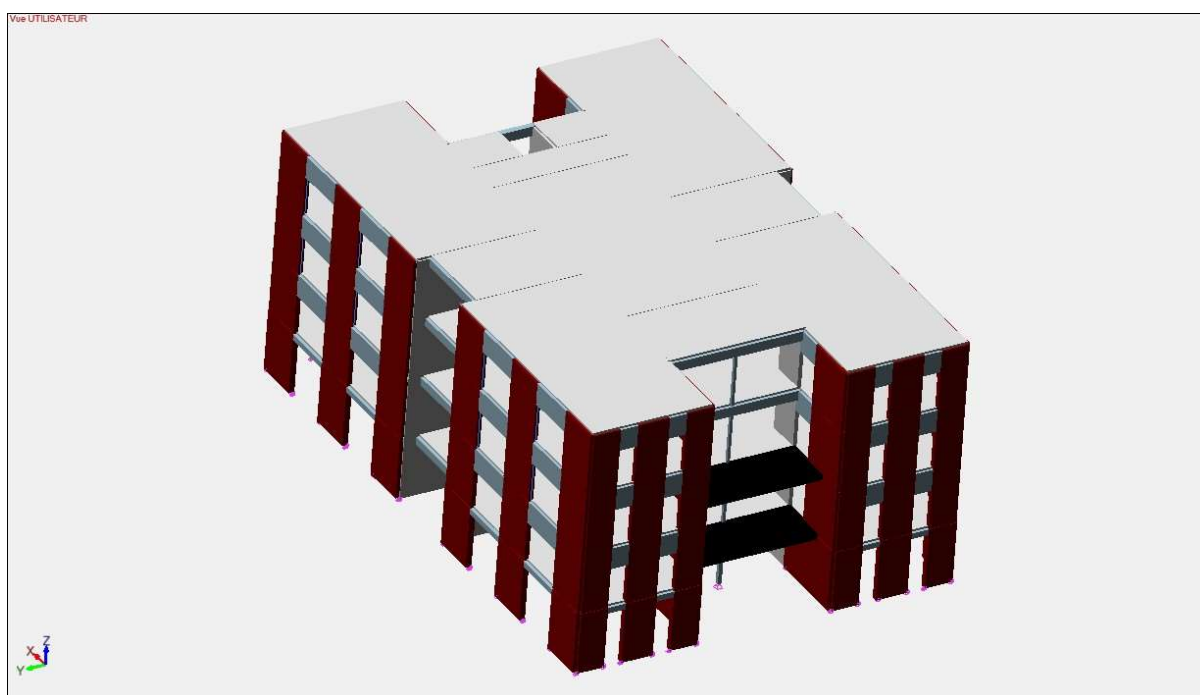


Fig. 13 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 2

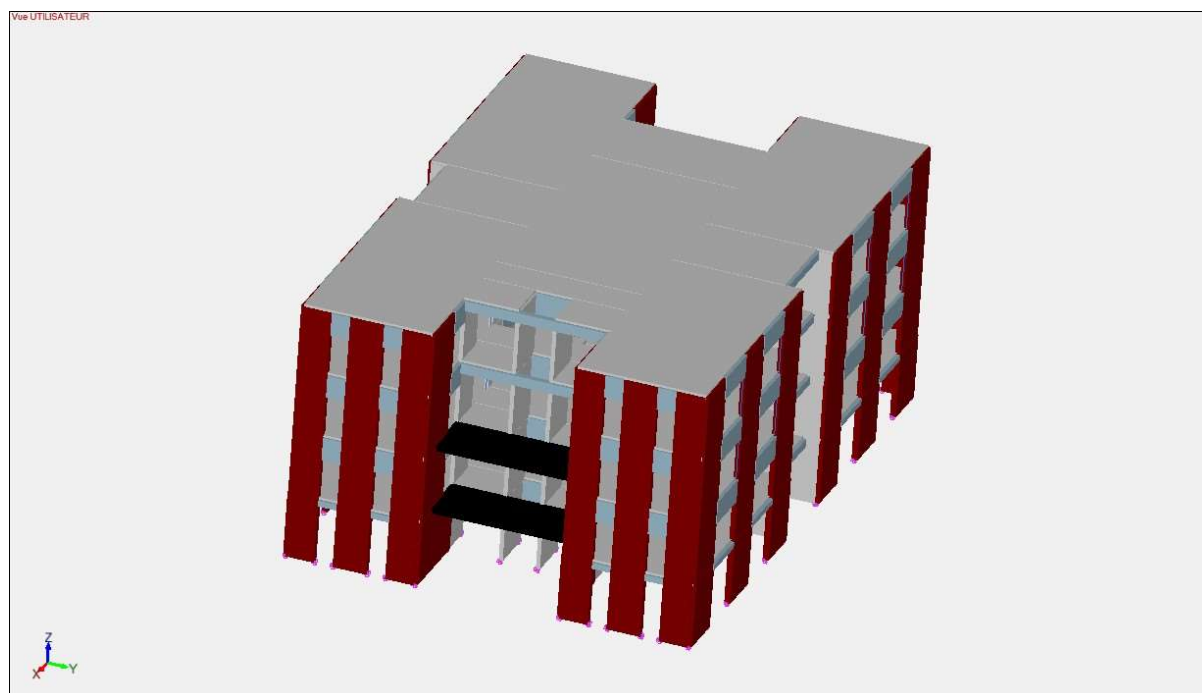


Fig. 14 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) - Axonométrie 3

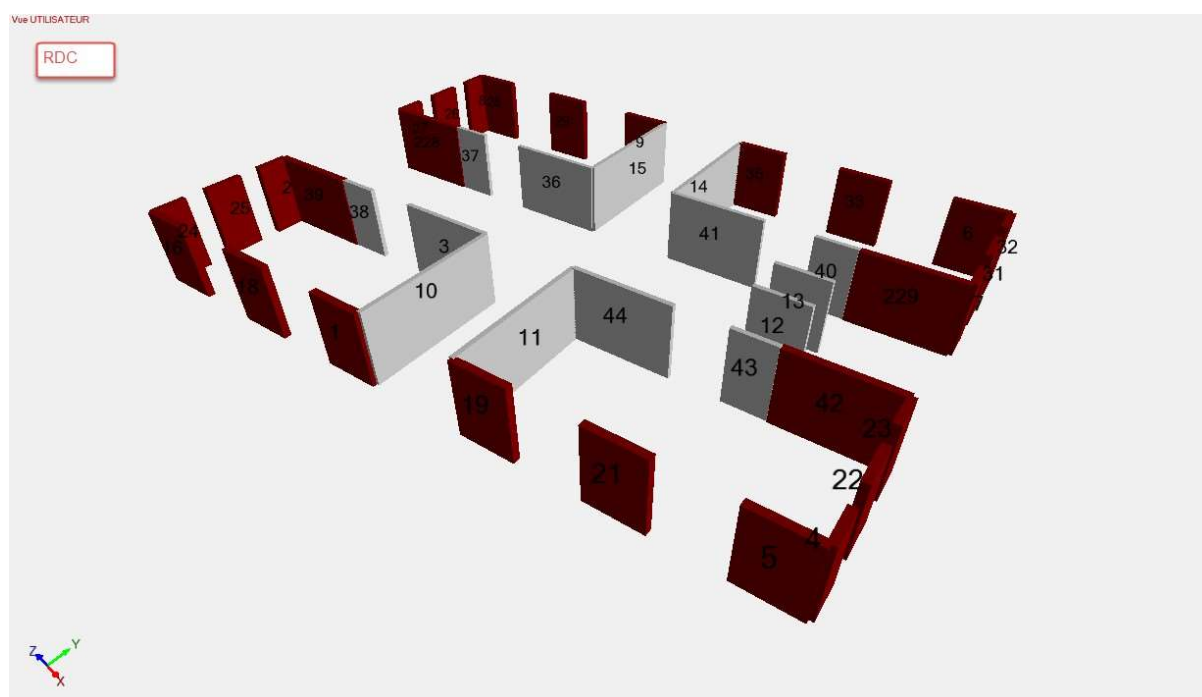


Fig. 15 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) – Vue RDC avec nomenclature

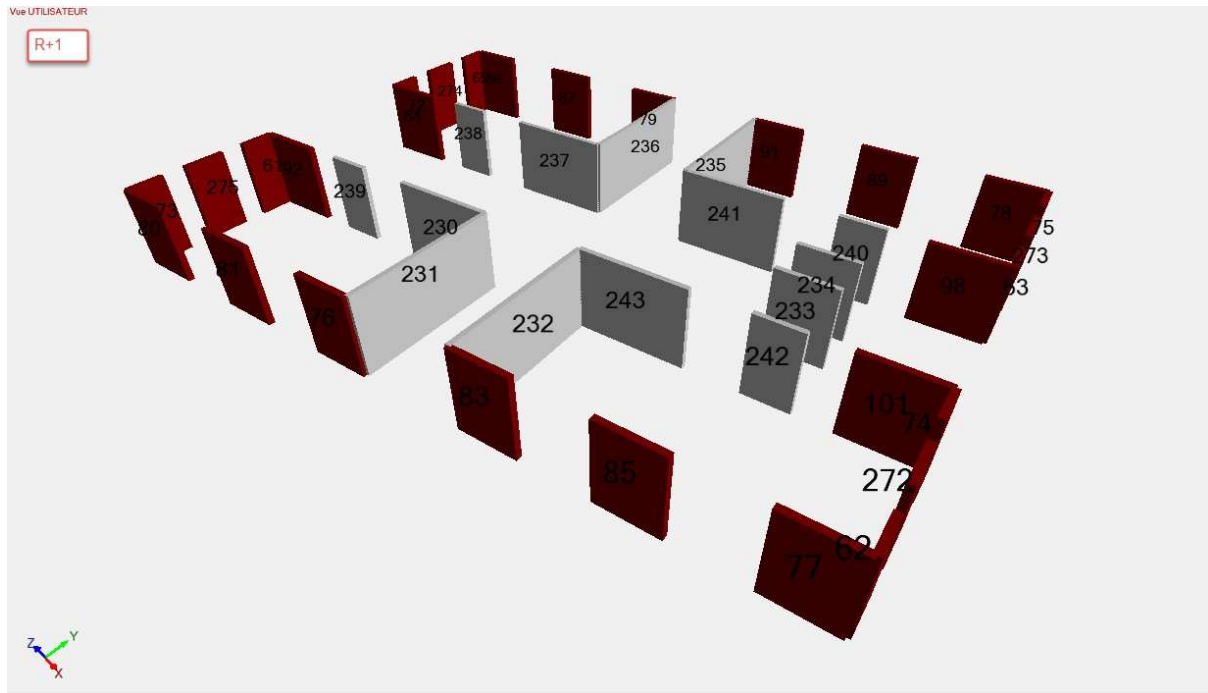


Fig. 16 – Modèle mixte (béton en gris et CS2 en rouge) – Vue R+1 avec nomenclature

3.8.2. Rappel des hypothèses de l'analyse sismique

- **Modélisation :** Voiles mixtes, béton de bois (CS2) + béton armés et dalles béton armé modélisées par des coques.

NOTA : Pour l'étude sismique, on considère un coefficient d'amortissement du béton égal à 5%, et un module moyen du béton $E = E_{CT}/2$ pour considérer les sections fissurées et enfin un coefficient de Poisson $\nu = 0$. (§4.3.1(7) EC8.1).

- **Altitude (point le plus haut) :** ≈ 280 m NGF Spectre : Calcul Type

- **Zone de sismicité :** 4 (moyenne - $a_{gr} = 1.6$ m/s²)

- **Classe de sol :** Zone C

- **Accélération horizontale du sol a_g/g :** 0.163

- **Paramètre du sol (S) :** 1.50

- **Période T B :** 0.06 s

- **Période T C :** 0.40 s

- **Période T D :** 2.00 s

- **Catégorie d'importance :** Catégorie II ($\square I = 1.0$)

- **Coefficient de comportement :**

- X : 2.000

- Y : 2.000

- **Coefficient d'amplification topographique :** 1.00

- **Présence du mode résiduel :** NON

- **Méthode :** CQC

- **Signature des résultats :**

- Direction X (analyse 3) : Signé du mode 2

- Direction Y (analyse 4) : Signé du mode 3

3.8.3. Vérification des modes : excitation des masses

Grandeurs des modes propres							
Mode N°	Pulsation (Rad/s)	Période (s)	Fréquence (Hz)	Énergie (J)	Masses modales		Amortissement (%)
					X T (%)	Y T (%)	
1	16.93	0.37	2.69	44.17	0.00 (0.00)	0.05 (0.00)	5.00
2	25.77	0.24	4.10	55.60	1407.87 (74.56)	0.00 (0.00)	5.00
3	29.62	0.21	4.71	47.75	0.00 (0.00)	1438.67 (76.19)	5.00
4	52.65	0.12	8.38	500.27	0.00 (0.00)	0.02 (0.00)	5.00
5	79.76	0.08	12.69	503.83	0.00 (0.00)	263.08 (13.93)	5.00
6	82.95	0.08	13.20	1629.09	0.00 (0.00)	0.12 (0.01)	5.00
7	85.23	0.07	13.56	3593.88	4.42 (0.23)	0.00 (0.00)	5.00
8	85.28	0.07	13.57	3632.68	0.14 (0.01)	0.00 (0.00)	5.00
9	85.30	0.07	13.58	3637.63	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
10	85.30	0.07	13.58	3636.55	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	5.00
11	85.36	0.07	13.58	3593.48	0.00 (0.00)	0.56 (0.03)	5.00
12	85.39	0.07	13.59	3597.41	0.00 (0.00)	2.59 (0.14)	5.00
13	90.15	0.07	14.35	808.80	323.79 (17.15)	0.00 (0.00)	5.00
14	102.32	0.06	16.28	1585.18	0.00 (0.00)	59.37 (3.14)	5.00
15	103.03	0.06	16.40	1856.82	0.00 (0.00)	1.98 (0.10)	5.00
Total				28723.13	1736.22 (91.94)	1766.44 (93.54)	

Tableau 6 - Masses modales (modèle B mixte)

Au bout de 13 modes, le cumul des masses modales est supérieur à 90% de la masse totale.

Les modes principaux suivant X sont les modes 2 et

13. Les modes principaux suivant Y sont les modes 3 et 5.

La réponse du modèle aux actions sismiques se fait selon des modes de translations (pas d'effet de torsion car indépendance des modes principaux selon X et Y).

3.8.4. Vérification des déplacements entre étages

Du fait d'une structure mixte composée par des voiles CS2 au comportement ductile mais également par des voiles intérieurs en béton armé, les déplacements de la structure sous sollicitation sismique sont moindres que dans le modèle 1. Dans notre cas, les critères de déplacements relatifs entre niveaux sont bien respectés.

Vérification des déplacements relatifs entre étages pour les combinaisons sismiques											
Nom Étage	N° Étage	Combinaison	Code	N° Noeud	Déplacement relatif X (cm)	Déplacement relatif Y (cm)	Déplacement relatif (cm)	Coefficient de réduction	Déplacement relatif par étage (cm)	Déplacement relatif admissible (cm)	Vérification
R+3	4	120	ELU	18433	0.345	0.079	0.354	0.40	0.142	1.575	Correct
R+2	3	120	ELU	15586	0.384	0.114	0.401	0.40	0.160	1.575	Correct
R+1	2	120	ELU	10543	0.349	0.090	0.361	0.40	0.144	1.575	Correct
RDC	1	117	ELU	2905	0.202	0.060	0.211	0.40	0.084	1.575	Correct

Tableau 7 - Déplacements relatifs entre étages (modèle B mixte)

3.8.5. Vérification du joint de dilatation

Dans le cas d'un bâtiment comprenant plusieurs blocs séparés par un joint de dilatation, il y a lieu de vérifier le déplacement entre blocs, qui correspond à une condition de non-entrechoquement sous sollicitation sismique.

Dans notre cas de figure, un seul bloc constitue le modèle ; ainsi, il n'y aurait pas lieu de vérifier les déplacements différentiels entre blocs.

A titre d'exemple : une simulation reprenant 2 blocs identiques, positionnés de manière accolée selon la direction X donnerait lieu aux vérifications suivantes :

$$d_{min} = \sqrt{(U_{1,x,max})^2 + (U_{2,x,max})^2}$$

$$U_{1,x,max} = U_{2,x,max} = 1.259 \text{ cm}$$

D'après EC8 §4.4.2.7 §(3), si les niveaux de planchers sont identiques entre les 2 bâtiments étudiés, la distance d_{min} du joint de dilatation peut être réduite par 0,7. Ainsi, il en vient : $d_{min} =$

$$1.78 \times 0.7 = 1.246 \text{ cm soit un joint de dilatation } \geq 2 \text{ cm.}$$

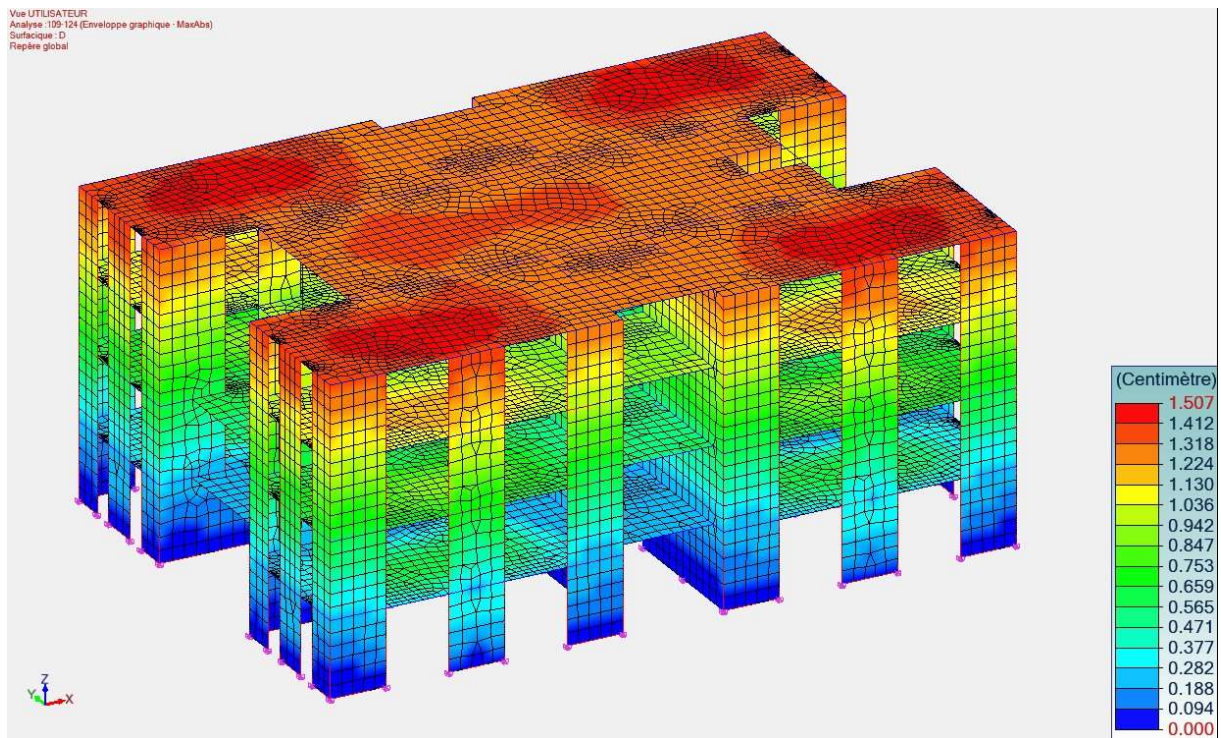


Fig. 17 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée globale D

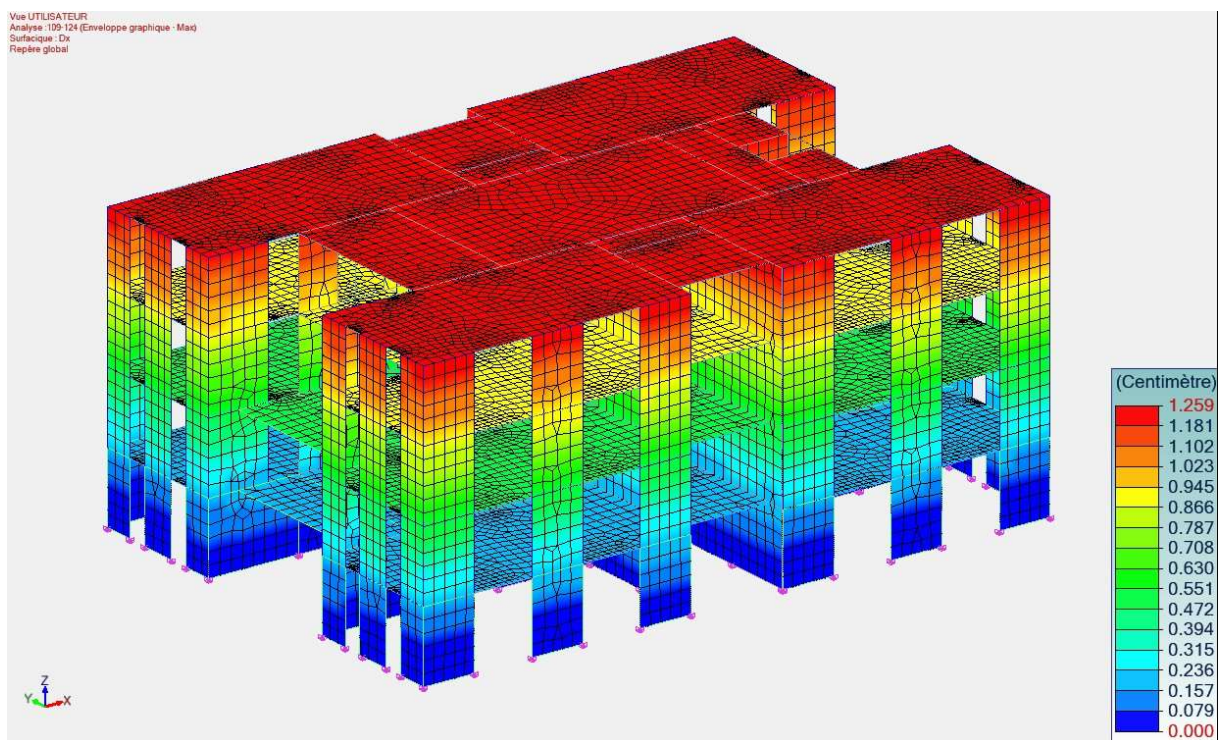


Fig. 18 – Modèle béton de bois CS2 – Déformée Dx selon direction X

3.8.6. Résultats

Résultats généraux

CONCLUSION :

Les résultats présentés dans l'annexe 3 confirment que tous les critères de vérification sous séisme sont validés.

(Voir résultats complets en Annexe 12-3)

Dossier ATEX – Principe CS2 – CCB GREENTECH