

Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3.2/17-941_V1**

*Mur à coffrage et isolation
intégrés
Composite wall with
insulation*

MUR 2000+ COMFORT

Relevant de la norme

NF EN 14992

Titulaire : Société KERKSTOEL 2000+ NV
Industrieweg 11
B-2280 GROEBBENDONK
Tél. : 00 32 14 50 00 31
Fax : 00 32 14 50 15 73
E-mail : info@kerkstoel.be
Internet : www.kerkstoel.be

Groupe Spécialisé n° 3.2

Murs et accessoires de mur

Publié le 14 mars 2018



Commission chargée de formuler des Avis Techniques et Documents Techniques d'Application

(arrêté du 21 mars 2012)

Secrétariat de la commission des Avis Techniques
CSTB, 84 avenue Jean Jaurès, Champs sur Marne, FR-77447 Marne la Vallée Cedex 2
Tél. : 01 64 68 82 82 - Internet : www.ccfat.fr

Le Groupe Spécialisé n° 3.2 « Murs et accessoires de mur » de la Commission chargée de formuler les Avis Techniques a examiné le 16 Novembre 2017, le procédé de mur à coffrage et isolation intégrés MUR 2000+ COMFORT présenté par la société KERKSTOEL. Il a formulé, sur ce procédé, l'Avis Technique ci-après. Cet Avis a été formulé pour les utilisations en France Européenne.

1. Définition succincte

1.1 Description succincte

Procédé de mur à coffrage et isolation intégrés constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, dont l'une comporte un isolant accolé, maintenues espacées par des organes de liaison (connecteurs synthétiques, ancrés cylindriques, plats et épingles métalliques) et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour réalisation de murs articulés ou encastrés. La paroi extérieure est librement dilatée.

La paroi préfabriquée intérieure a une épaisseur nominale d'au moins 7 cm d'épaisseur. L'épaisseur de l'isolant peut varier entre 6 et 15 cm pour les éléments porteurs et entre 6 et 17 cm pour les éléments non porteurs. La paroi extérieure a une épaisseur nominale d'au moins 7 cm. Le noyau a une épaisseur nominale d'au moins 8,5 cm.

L'ancrage de la paroi extérieure à la paroi structurale est assuré par le procédé FIXI DOUBLE PEAU de la société FIXINOX, faisant l'objet d'un Avis Technique en cours de validité. Lors du coulage du béton, le maintien de l'écartement entre les parois préfabriquées est assuré par des connecteurs en matériau composite SYSPRO fabriqués par la société BREIDENBACH.

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,5 x 10,0 m.

Des aciers de liaison sont insérés en œuvre dans le béton coulé sur place ; les panneaux de coffrage peuvent être associés à des éléments structuraux complémentaires coulés sur place ou préfabriqués.

Les menuiseries et les huisseries sont rapportées en œuvre.

Revêtements

- Extérieur : parement de la paroi extérieure en béton brut ou complété par un revêtement mince type peinture ou enduit.
- Intérieur : finitions classiques sur béton lisse

1.2 Description succincte

En application du règlement (UE) n°305/2011, le produit « MUR 2000+ COMFORT » fait l'objet d'une déclaration des performances établie par le fabricant sur la base de la norme NF EN 14992.

Les produits conformes à cette déclaration de performance sont identifiés par le marquage CE.

2. AVIS

L'Avis porte uniquement sur le procédé tel qu'il est décrit dans le Dossier Technique joint, dans les conditions fixées aux Prescriptions Techniques (§2.3).

L'Avis ne vaut que pour les fabrications faisant l'objet d'un certificat tel que décrit dans le DTED.

Ne sont pas visés au titre du présent Avis :

- les accessoires de levage non incorporés au procédé « MUR 2000+ COMFORT » (élingues, chaînes, sangles, câbles, ...).
- les appareils de levage (grue mobile ou fixe, ...).
- les équipements de protection collective ou individuelle pour la sécurité des personnes (garde-corps, crochet, ...).

2.1 Domaine d'emploi accepté

Murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, pouvant comporter une hauteur isolée enterrée de 1 m maximum, en situation non immergée et dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (sous-sol de deuxième catégorie au sens du DTU 20-1 partie 1 § 7.4.2). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies et approuvées ci-après.

Les murs à coffrages et isolation intégrés peuvent être porteurs ou non porteurs.

L'utilisation dans les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins (selon la définition de la classe d'exposition XS1 définie dans l'Annexe nationale à l'Eurocode 2 partie 1-1, Notes au Tableau 4.1) est possible moyennant le respect des exigences d'enrobages définies dans le §3.32 du Dossier Technique.

L'utilisation dans les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins pour les classes XS2 et XS3 ainsi que les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives n'est pas visée par le présent Avis.

Possibilité d'emploi en zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) moyennant les dispositions spécifiques définies dans le Dossier Technique et complétées par les prescriptions techniques correspondantes du paragraphe 2.3 ci-après.

Les planchers avec prédalles suspendues doivent respecter les dispositions de l'Annexe F de la Section A du CPT Prédalles (Cahier du CSTB 2892_v2). L'utilisation des prédalles suspendues est limitée aux situations non sismiques.

Le présent Avis ne porte pas sur les murs des réservoirs et magasins de stockage de type silos.

Le présent Avis ne porte pas sur les murs avec isolant en laine minérale ou fibre de bois.

Pour des épaisseurs de mur supérieures à 40 cm, l'aptitude au levage du procédé n'est pas visée par le présent Avis.

2.2 Appréciation sur le procédé

2.21 Satisfaction aux lois et règlements en vigueur et autres qualités d'aptitude à l'emploi

Stabilité

La stabilité des ouvrages à laquelle peuvent être associés, dans les limites résultant de l'application des Prescriptions Techniques ci-après, les murs réalisés selon ce procédé, peut être normalement assurée.

Les systèmes associés à ce procédé de mur, et en particulier les systèmes de plancher, doivent être vérifiés suivant les prescriptions des textes de référence s'y rapportant (DTU ou Avis Technique suivant la traditionalité ou non du système concerné).

Résistance au séisme

Pour les constructions nécessitant la prise en compte d'efforts sismiques, le rétablissement du monolithisme du mur est assuré par l'adjonction des aciers de couture entre panneaux.

L'utilisation d'éléments préfabriqués au sens de la norme NF EN 1998-1 et du §5.11.1.4 est prévue moyennant un coefficient k_p pris égal à 1.

La paroi extérieure est considérée comme non structurale au sens de la norme NF EN 1998-1, et sa tenue doit être justifiée en retenant $q_a = 1$, suivant la section 4.3.5 de la norme NF EN 1998-1.

Sécurité au feu

Réaction au feu

Le parement en béton bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu A1 selon les Euroclasses.

Résistance au feu

Le procédé Mur 2000+ COMFORT fait l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 17-208. L'appréciation de laboratoire vise les panneaux d'épaisseur d'isolant comprise entre 6 et 17 cm.

Suivant l'Appréciation de laboratoire CSTB n° AL17-208, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe XVI du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structurale (noyau + paroi intérieure, épaisseur totale de 14 cm et 16 cm) des murs réalisés en Mur 2000+ COMFORT. Pour des épaisseurs supérieures à 16 cm, le calcul de la distribution de la température peut être réalisé en suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son annexe nationale.

La résistance au feu de la partie structurale est vérifiée suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurale des murs Mur 2000+ COMFORT comme homogène.

L'appréciation de laboratoire CSTB n° AL 17-208 prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des organes de liaison FIXI DOUBLE PEAU pour suspendre la paroi extérieure à la paroi structurale.

Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de définir les dimensions maximales des parois extérieures pour une durée de stabilité au feu allant jusqu'à 120 min.

Enfin, l'appréciation du CSTB n° AL 17-208 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas MO. Ainsi, les pourtours des ouvertures devront être protégés par une bande de 100 mm minimum, de laine minérale ou verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m². Elle pourra être réduite à 50 mm lorsqu'elle est protégée par une bavette en acier.

Prévention des accidents lors de la mise en œuvre et de l'entretien

Le système permet de l'assurer normalement.

Isolation thermique

Elle est assurée par l'isolation intégrée au panneau préfabriqué. Ce système d'isolation thermique par l'extérieur permet d'éviter les ponts thermiques courants.

Afin que l'isolant joue convenablement son rôle, la présence en parement extérieur d'une garniture de joint apte à assurer, au droit des joints, sa protection à l'eau est indispensable.

Le calcul du coefficient de transmission thermique U_p du procédé « mur 2000+ COMFORT » se fait par la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{\frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{e_1 + e_2 + e_n}{2} + 0,17} + n_{\text{épingles}} \chi_{\text{épingles}} + n_{\text{cylindre}} \chi_{\text{cylindre}} + n_{\text{plat}} \chi_{\text{plat}} + n_{\text{connecteur}} \chi_{\text{connecteur}}$$

Où :

λ_i : Conductivité thermique de l'isolant, certifiée ACERMI, en W/(m.K)

$\chi_{\text{épingles}}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'une épingle ou étrier en W/K et donné en annexe de l'Avis technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité ;

$n_{\text{épingles}}$: Nombre d'épingles par m² de paroi, en m⁻²

χ_{cylindre} : Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un cylindre en W/K et donné en annexe de l'Avis technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité

n_{cylindre} : Nombre de cylindre par m² de paroi, en m⁻²

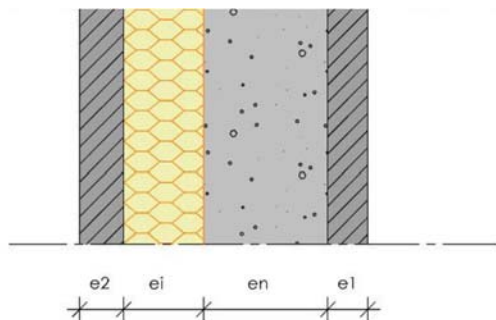
χ_{plat} : Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un plat en W/K et donné en annexe de l'Avis technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité

n_{plat} : Nombre de plat par m² de paroi, en m⁻²

$\chi_{\text{connecteur}}$: Coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et déterminé selon le fascicule 4/5 des « Règles Th-U », en W/K ;

$n_{\text{connecteur}}$: Nombre de connecteur par m² de paroi, en m⁻²

e_i, e_1, e_2, e_n : Epaisseurs des différentes couches représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



Le calcul des coefficients de ponts thermiques de liaison doit se faire selon le fascicule 5/5 des « Règles Th-U ».

Les valeurs de coefficient thermique ponctuel lié à la présence d'un plat, d'un cylindre ou d'une épingle sont données en Annexe de l'Avis Technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité. Ces valeurs ont fait l'objet d'une validation par le CSTB.

La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les « Règles Th-U ». Elle doit notamment prendre en compte la présence d'isolant type laine de roche ou verre cellulaire de densité minimale 120 kg/m³ sur le pourtour des baies.

Étant donné le risque d'infiltration d'eau dans l'isolant des éléments enterrés, les performances de l'isolant ne peuvent pas être prises en compte dans les calculs thermiques des éléments enterrés.

Isolation acoustique

Étant donné les épaisseurs de béton minimales mises en jeux, le procédé ne devrait pas poser de problèmes d'isolement au bruit aérien, jusqu'aux exigences de $D_{n,T,A,Tr} \leq 30\text{dB}$. Au-delà, une étude au cas par cas est nécessaire.

Étanchéité des murs extérieurs

Moyennant le choix de l'organisation appropriée par application des critères définis dans le Dossier Technique, et un bétonnage très soigné (utilisation de goulottes de bétonnage notamment) en particulier au voisinage des points singuliers (allèges, raccordements entre panneaux...), l'étanchéité des ouvrages et bâtiments du domaine d'emploi accepté peut être considérée comme normalement assurée.

Risques de condensation superficielle

Étant donnée l'isolation thermique par l'extérieur intégrée dans le procédé, les ponts thermiques les plus courants sont évités et les risques de condensation superficielle sur ces murs sont donc très limités.

Confort d'été

Pour la détermination de la classe d'inertie thermique quotidienne des bâtiments, qui constitue un facteur important du confort d'été, les murs extérieurs de ce procédé appartiennent à la catégorie des parois lourdes à isolation rapportée à l'extérieur. Leur inertie est déterminée au moyen des règles TH-I et la masse surfacique utile à prendre en compte dans les murs extérieurs est celle de la paroi préfabriquée intérieure et du noyau coulé en place.

Finition – Aspect

Les finitions prévues sont à l'extérieur et à l'intérieur les finitions classiques sur béton. Leur comportement ne devrait pas poser de problème particulier si leurs conditions de mise en œuvre satisfont aux Prescriptions Techniques ci-après. Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'aciers de liaison, de fines fissures, sans autre inconvénient que leur aspect, se manifestent au droit de certains joints entre panneaux de coffrage non revêtus. En cas d'absence d'aciers de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

Liaisons avec les ouvrages de second œuvre

Les ouvrages de second œuvre (menuiseries, coffres d'acrotères, volets roulants, etc.) ne devront pas gêner la libre dilatation du voile extérieur.

Données environnementales

Le procédé Mur 2000+ COMFORT ne dispose d'aucune Déclaration Environnementale (DE) et ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière. Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

Aspects sanitaires

Le présent avis est formulé au regard de l'engagement écrit du titulaire de respecter la réglementation, et notamment l'ensemble des obligations réglementaires relatives aux produits pouvant contenir des substances dangereuses, pour leur fabrication, leur intégration dans les ouvrages du domaine d'emploi accepté et l'exploitation de ceux-ci. Le contrôle des informations et déclarations délivrées en application des réglementations en vigueur n'entre pas dans le champ du présent avis. Le titulaire du présent avis conserve l'entière responsabilité de ces informations et déclarations.

2.22 Durabilité – Entretien

La garniture extérieure des joints est constituée d'un mastic élastomère à bas module présentant une bonne déformabilité. Une telle caractéristique est indispensable compte tenu de l'amplitude des variations dimensionnelles des joints verticaux entre panneaux et des joints entre menuiseries et paroi extérieure par suite du choix du noyau en béton coulé en place pour recevoir la fixation.

Les acrotères constitués par un prolongement des panneaux du dernier niveau doivent comporter des armatures de sections conformes à celles prévues dans les Prescriptions Techniques des panneaux sandwichs à voile extérieur librement dilatable (cf. Cahier du C.S.T.B. n° 2159, livraison 279, référence 2).

Moyennant les précautions de fabrication et de mise en œuvre, et les limitations précisées aux Prescriptions Techniques, la durabilité d'ensemble des murs de façade de ce procédé peut être considérée comme équivalente à celle de murs traditionnels en béton.

Elle requiert :

- l'exécution des travaux normaux d'entretien des façades en béton,
- la réfection des garnitures de mastic extérieures.

2.23 Fabrication et contrôle

Réalisée en usine fermée spécialement équipée, la fabrication des panneaux de coffrage, qui fait appel pour l'essentiel aux techniques de la préfabrication lourde bénéficie de la précision que permet ce mode classique de fabrication.

Le retournement de la moitié de panneau coulé en première phase constitue l'opération la plus délicate du point de vue de la précision d'assemblage des deux parois ; la précision requise est obtenue moyennant le contrôle régulier et l'ajustement, si nécessaire, des paramètres de la machine de retournement.

Cet avis ne vaut que pour les fabrications pour lesquelles les autocontrôles et les modes de vérifications, décrits dans le dossier technique établi par le demandeur sont effectifs.

2.24 Mise en œuvre

La mise en œuvre de ce procédé nécessite la prise en compte, à tous les stades de l'exécution et par l'ensemble des intervenants, des conséquences de la libre dilatation du voile extérieur des panneaux.

Effectuée par des entreprises en liaison dès la phase de conception avec le fabricant titulaire de l'Avis, qui leur livre les panneaux de coffrage accompagnés du plan de pose complet, elle présente d'importantes différences par rapport aux méthodes traditionnelles définies dans le DTU n° 23.1, entre autres :

- présence de raidisseurs segmentant le volume à bétonner
- épaisseur du béton de remplissage pouvant être inférieure à 12 cm
- absence de vibration du béton
- limitation à l'épaisseur du seul voile coulé en œuvre des sections de continuité en rives des panneaux
- relative difficulté de mise en place d'aciers de continuité horizontaux dans les jonctions verticales
- impossibilité d'observer la qualité du bétonnage en partie courante.

Ces caractéristiques engendrent des limitations précisées dans les Prescriptions Techniques ; elles nécessitent en outre de l'entreprise de mise en œuvre des précautions particulières et un entraînement des équipes de montage. Le titulaire de l'Avis fournira aux entreprises un Cahier des charges de montage et mettra à leur disposition, sur leur demande, des possibilités de formation du personnel.

Il leur diffusera le contenu du présent Avis Technique et notamment le domaine d'emploi accepté et les prescriptions techniques dont il est assorti.

2.3 Prescriptions techniques

2.31 Conditions de conception

- 1- Les justifications de calcul de stabilité et de résistance des murs doivent prendre en compte la présence des joints entre panneaux de coffrage et donc n'être arrêtées qu'après calepinage de l'ouvrage.
- 2- Les murs réalisés suivant le procédé Mur 2000+ COMFORT peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurale (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 16 cm. Les critères d'enrobage définis dans le CPT des MCI (Cahier du CSTB 3690-V2) s'appliquent à ce procédé.
- 3- Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du mur MUR 2000+ COMFORT, la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurale du mur (paroi intérieure + noyau coulé en œuvre) correspond à :

$$f_{ck,eq28} = \min \left(f_{ck,p} - 3 \times 10^{-4} \times E_{v,n} \left(1 + \frac{3 \times e_1 \times e_n}{(e_1 + e_n)^2} \right); f_{ck,n} \right)$$

Avec :

$f_{ck,p}$: résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées

$f_{ck,n}$: résistance caractéristique du béton du noyau coulé en œuvre

$E_{v,n}$: module élastique différé du béton du noyau coulé en œuvre

e_1 : épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure

e_n : épaisseur du noyau coulé en œuvre

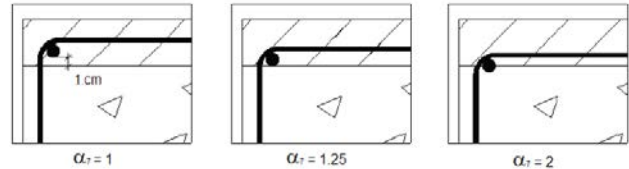
Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans le MCII (poteau, poutre, poutre voile, etc.).

De plus, les effets de second ordre (liés au retrait différentiel des bétons préfabriqués et coulés en œuvre) doivent être pris en compte dans le dimensionnement des panneaux conformément au paragraphe 4.13 du Dossier Technique établi par le demandeur.

- 4- L'organisation des panneaux doit être conçue de telle sorte que chacun des voiles extérieurs en béton soit librement dilatable grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment.

- 5- Conformément à l'Avis Technique en cours de validité du procédé FIXI DOUBLE PEAU, les cylindres MA peuvent uniquement être utilisés dans une paroi d'épaisseur minimale de 7 cm pour une épaisseur de vide (noyau + isolant) variant entre 130 et 200 mm. Les plats FA peuvent quant à eux être utilisés dans une paroi d'épaisseur minimale de 7 cm et une épaisseur de vide comprise entre 130 mm et 240 mm.
- 6- En phase de manutention, le nombre et la position des points de levage sont déterminés en fonction des dimensions et du poids des panneaux selon les préconisations du fabricant des boucles et selon les prescriptions de l'Annexe « CMU des boucles de levage »
- 7- Sauf à rétablir par armatures rapportées la continuité des raidisseurs, les jonctions horizontales des panneaux sont à considérer comme articulées. Des poteaux verticaux, disposés à un espacement compatible avec un effet de plaque, peuvent utilement être utilisés en renfort, le cas échéant.
- 8- Sauf justification explicite de la stabilité des panneaux, les joints horizontaux entre panneaux doivent se situer au droit des planchers, et en aucun cas entre deux planchers.
- 9- Il convient de tenir compte de l'enrobage intérieur de l'armature dans le voile préfabriqué via l'introduction d'un coefficient α_7 dans le calcul de la longueur d'ancrage de l'armature. La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut donc $\alpha_7 \times l_{bd}$, avec la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} définie à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale. Le coefficient α_7 est quant à lui égal à :

- 1 si l'enrobage minimal de l'armature de structures est supérieur à 10 mm par rapport à la surface de reprise ;
- 1,25 si l'armature est tangente à l'interface de reprise ;
- 2 si l'armature est sécante à l'interface de reprise



- 10- Le bétonnage s'effectue dans les conditions de vitesse et de hauteur de chute spécifiées au §10 du Dossier Technique.
- 11- Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des Mur 2000+ COMFORT de la réduction de section de béton au droit de ces joints.
- 12- L'épaisseur nominale du noyau doit être au moins de 8,5 cm afin de respecter l'épaisseur minimale de 7 cm, avec les valeurs par défaut des tolérances.
- 13- Sur les faces en contact avec l'isolant, considérer un enrobage correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé – 5mm, sans descendre en dessous de celui de la classe XC3.
- 14- Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des organes de liaison de façon à assurer l'équilibre des moments (centre de raideur des organes de liaison aligné avec le centre de gravité de la paroi extérieure) ou bien de déterminer pour chaque connecteur les efforts réels en fonction de la répartition retenue.
- 15- Les plans mentionnent la stabilité au feu pour laquelle les connecteurs ont été dimensionnés.
- 16- Liaisons entre panneaux MUR 2000+ COMFORT en zone courante.
Le joint doit être vérifié au cisaillement. L'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié, suivant la méthode de calcul présentée à l'Annexe IV du Dossier Technique.
- 17- Dans le calcul des largeurs de joints, il sera pris une tolérance de pose minimale de 5 mm dans tous les cas, même lors d'une pose des panneaux avec cales. Le calcul des largeurs de joints devra également prendre en compte les tolérances de fabrication des panneaux, tolérances variables selon les dimensions du panneau. La largeur de joint doit être d'au moins de 5 mm, toute tolérance épuisée.
- 18- Pour les vérifications en phase provisoire, la résistance en cisaillement des ancrages porteurs du système FIXI DOUBLE PEAU en phase provisoire sont obtenues en multipliant par $\sqrt{\frac{f_{ck,béton C20/25}}{f_{ck,béton C25/30}}}$ les résistances indiquées dans l'Avis Technique en cours de validité du procédé FIXI DOUBLE PEAU.

2.32 Dispositions parasismiques

2.321 Généralités

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un voile réalisé en mur à coffrage et isolation intégrés peut se baser sur la section homogène équivalente au voile banché substitué.

Dans le cas de figure où le voile est libre sur l'un de ses côtés, on pourra se reporter à la vérification de la stabilité de forme effectuée pour les poutres voiles.

Le nombre et la répartition des organes de liaisons (ancres porteuses FIXI DOUBLE PEAU) sont déterminés par la société FIXINOX, titulaire de l'Avis Technique en cours de validité du système de fixation FIXI DOUBLE PEAU. Les cylindres doivent se situer dans une zone de béton fretté.

Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par la société FIXINOX en fonction de l'accélération sismique et du nombre d'organes de liaisons, à partir des raideurs moyennes en cisaillement des organes indiquées dans l'Avis Technique en cours de validité dont relève le procédé FIXI DOUBLE PEAU. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

La structure comportant des panneaux non porteurs doit être dimensionnée à l'état de limitation des dommages suivant le §4.4.3.2 de la norme NF EN 1998-1.

2.322 Liaisons entre les MCII en zone courante

Le joint doit être vérifié au cisaillement. L'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié, suivant la méthode de calcul présentée à l'Annexe IV du Dossier Technique. Cette vérification est réalisée par le Bureau d'Etudes Interne du titulaire et permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié.

2.323 Liaisons entre les MCII au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non glissement du voile par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, le joint doit être vérifié au cisaillement conformément au §5.11.2.2 de la NF EN 1998-1 sur la base du noyau (béton coulé en place) du Mur 2000+ COMFORT.

2.324 Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs voiles

Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans le Mur 2000+ COMFORT ou mis en œuvre par le biais des armatures de coupures. Le choix entre ces deux solutions sera fonction de la section du tirant, de l'épaisseur du MUR 2000+ COMFORT et des contraintes de mise en œuvre. Les dispositions minimales de l'Eurocode 8 doivent être respectées, notamment les dispositions de l'article 5.4.3.5.3 (4) de la NF EN 1998-1/NA.

2.325 Exigences relatives au façonnage des armatures

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans la NF EN 1998-1.

La classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de la NF EN 1998-1. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments primaires pour lesquels il ne peut être employé d'armature du type B500 A.

2.326 Fixation des panneaux non-porteurs

Les systèmes de fixations des panneaux non porteurs à la structure doivent être conçus de telle sorte que le panneau ne soit pas mis en charge par la déformation de la structure.

2.33 Rôles des différents intervenants

La mise en œuvre du procédé est effectuée par l'entreprise titulaire du marché. Une documentation sur les spécificités de mise en œuvre du procédé sera transmise par le titulaire qui mettra à la disposition de l'entreprise de pose son assistance technique et des possibilités de formation du personnel.

Il est rappelé que le dimensionnement des panneaux doit être réalisé par le titulaire, sur la base d'une étude de stabilité de l'ensemble de l'ouvrage réalisée par un bureau d'étude technique extérieur.

Les épaisseurs minimales de l'isolant sont déterminées par le bureau d'études thermiques.

L'épaisseur de la paroi structurale est soumise à l'approbation du bureau d'études de structures.

Le dimensionnement de la peau extérieure librement dilatable et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé.

Le calepinage des joints est effectué par le titulaire du procédé et soumis à l'approbation du bureau d'études de structures.

Le dimensionnement des ancres de fixation et la vérification des joints sont réalisés par la société FIXINOX, titulaire de l'Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

Le bureau d'études de structures détermine les armatures structurales.

Le titulaire du procédé établit les plans de ferrailages des panneaux, à partir des plans du bureau d'études de structures et des dispositions et règles de calculs propres au procédé.

Les plans de préconisation de pose mentionnent la zone sismique, le type de sol et la catégorie d'importance du bâtiment pris en compte pour le dimensionnement des murs, des organes de liaison et de la largeur des joints. Ces plans mentionnent également la stabilité au feu pour laquelle les murs ont été dimensionnés.

2.34 Conditions de fabrication

Compte tenu de la minceur des voiles de coffrage, les raidisseurs métalliques doivent être fabriqués avec une grande précision pour respecter les exigences d'enrobage minimal et assurer la couture de la paroi intérieure et du béton coulé en place.

Ces raidisseurs doivent faire l'objet d'un suivi conformément au §2.23 du Dossier Technique.

Le béton des panneaux de coffrage doit faire l'objet d'un contrôle régulier.

L'isolant utilisé dans les panneaux MUR 2000+ COMFORT doit faire l'objet d'une certification ACERMI, comme le prévoit le Dossier Technique établi par le demandeur.

2.35 Conditions de stockage et de transport

Dans les panneaux de façade comportant une ou plusieurs baies, il est rappelé que l'on doit mettre en œuvre, au moins pour les opérations de manutention, des tirants ou entretoises de rigidité suffisante pour équilibrer, sans déformation sensible, les moments susceptibles d'être engendrés dans le plan du panneau par les efforts engendrés au droit des points de levage.

La manutention des éléments, dans une position verticale, s'effectue uniquement par les inserts de levage, incorporés dans les deux parois de l'élément prévues à cet effet. En aucun cas la manutention ne peut s'effectuer par d'autres armatures.

Le transport et le stockage à plat sont limités au cadre défini dans le guide de INRS « Murs à coffrage intégré(MCI) – Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité ».

Lors du transport vertical des panneaux, on doit prévoir des cales prenant simultanément l'appui des deux voiles.

Le stockage sur chantier des éléments doit être effectué sur une aire régulièrement plane et stable à la charge de l'entreprise ; l'aire de livraison doit être facile d'accès pour les camions.

Dans le cas de stockage vertical, les panneaux de coffrage doivent être posés sur des cales prenant simultanément l'appui des deux voiles.

2.36 Conditions de mise en œuvre

Pour la stabilité en phase provisoire, le dimensionnement des douilles doit être réalisé pour la valeur de vitesse de vent spécifiée dans les 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).

Le bétonnage en œuvre doit être réalisé conformément aux prescriptions du §10 du Dossier Technique.

Une attention particulière doit être portée à la protection en tête de panneau de l'isolant pour éviter toute infiltration du béton.

Avant de procéder au bétonnage, les parois coffrantes doivent être humidifiées, au jet d'eau par exemple ; tout excès d'eau en pied de coffrage doit être évacué avant bétonnage. On doit s'assurer avant bétonnage, que les dispositifs d'étanchéité des coffrages en rive basse et dans les joints ont été correctement mis en place.

Si l'utilisation de coupleurs d'armatures est prévue, ces derniers doivent bénéficier d'un certificat, comme prévu dans le Dossier Technique du demandeur.

Le désaffleurement éventuel entre panneaux de coffrage côté intérieur doit être traité avec un mortier de ragréage avant la mise en œuvre des revêtements.

Les menuiseries doivent être fixées dans le noyau coulé en place et être conçues pour permettre la mise en place, dans le joint entre dormant et panneaux en béton, d'un joint d'étanchéité continu.

Pour constituer la garniture extérieure des joints de panneaux, on doit choisir un mastic élastomère à bas module.

Les garnitures de mastic des joints entre panneaux doivent être mises en place entre des lèvres de joints dépourssiérées, non mouillées et traitées, si nécessaire, avec un primaire prescrit par le fournisseur de mastic.

Le relevé d'étanchéité des planchers hauts extérieurs (par exemple toiture-terrasse) n'est pas admis sur la peau extérieure des panneaux.

Pour le relevé d'étanchéité, la peau intérieure peut être considérée comme un support d'étanchéité de type B selon de DTU 20.12.

2.37 Contrôles et certification

Les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

- la résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées, $f_{ck,p}$;
- épaisseur des parois, e_1 et e_2 ;
- enrobages des armatures : ± 3 mm. ;
- ancrage des épingles (profondeur d'ancrage minimale : 5,5 cm) ;
- ancrage des cylindres (profondeur d'ancrage minimale : 5,5 cm pour une épaisseur de vide ≤ 90 mm et 6,2 cm pour une épaisseur de vide ≥ 100 mm) ;
- ancrage des plats (profondeur d'ancrage minimale : 5,5 cm pour une épaisseur de vide ≤ 90 mm et 6,2 cm pour une épaisseur de vide ≥ 100 mm) ;
- ancrage des connecteurs synthétiques (profondeur d'ancrage nominale : 7 cm, profondeur d'ancrage minimale = 6.5 cm).

Conclusions

Appréciation globale

L'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi accepté (cf. paragraphe 2.1) est appréciée favorablement.

Validité

À compter de la date de publication présente en première page et jusqu'au 30 Novembre 2020.

*Pour le Groupe Spécialisé n°3.2
Le Président*

3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Le procédé MUR 2000+ COMFORT a un fonctionnement assimilable aux murs à voile extérieur librement dilatable. A ce titre, le Groupe tient à souligner que l'organisation des panneaux doit permettre ce fonctionnement grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment.

Les raidisseurs doivent faire l'objet d'une certification par un organisme extérieur. Cette certification porte sur le contrôle de la hauteur et de la résistance des soudures des raidisseurs.

Les règles de dimensionnement se basent sur celles du CPT MCI Cahier du CSTB 3690 V2, tout en appliquant les principes de l'Eurocode 8 pour les aspects sismiques.

Par ailleurs, il est rappelé que le dimensionnement des panneaux doit être réalisé par le titulaire, sur la base d'une étude de stabilité de l'ensemble de l'ouvrage réalisée par un bureau d'étude technique extérieur. Enfin, le dimensionnement des ancrages FIXI DOUBLE PEAU, permettant l'ancrage de la paroi extérieure librement dilatable à la paroi structurale, est réalisé par la société FIXINOX, titulaire de l'Avis Technique du système en cours de validité.

En ce qui concerne l'appréciation de l'aptitude au levage du procédé, le Groupe tient à préciser que l'Avis porte sur la résistance des inserts de levage et sur l'impact de leur intégration sur les performances du mur vis à vis de la résistance en phase provisoire et définitive sans préjuger des dispositions nécessaires à la sécurité des intervenants suivant la réglementation en vigueur.

*Le Rapporteur du Groupe Spécialisé
n° 3.2*

Annexe – CMU des BOUCLES de LEVAGE

La présente annexe fournit les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par boucle pour les murs à coffrage intégré « Mur 2000+ COMFORT » d'épaisseur **inférieure ou égale à 400 mm** et pour lesquels l'épaisseur nominale des parois est au moins égale à 70 mm. Les boucles associées relèvent de l'Avis Technique « Ancres de levage KE III et KE IV » détenu par la société H-BAU. Les boucles sont utilisées dans les conditions de l'Avis Technique qui leur est propre et qui est en cours de validité.

Cette annexe fait partie intégrante du Document Technique d'Application : le respect des valeurs indiquées est une condition impérative de la validité de l'Avis.

Commentaire : La situation critique correspond parfois à un levage à 60° mais les résultats sont transposés pour afficher la valeur équivalente en levage droit.

Tableau 1 – CMU des boucles intégrées au « MUR 2000+ COMFORT »

Réf. boucle	Diamètre boucle ϕ_1	Épaisseur nominale du mur b	Épaisseur minimale paroi h_1, h_2	Enrobage interne effectif de la boucle $C_{1bc,int}, C_{2bc,int}$	Enrobage extérieur effectif de la boucle $C_{1bc,ext}, C_{2bc,ext}$	Levage en position verticale CMU1	Levage à plat du MCII CMU2	Retournement du MCII CMU3
KE III	13 mm	16 à 40 cm	≥ 70 mm	≥ 10 mm	≥ 15 mm	21,80 kN	4,25 kN	13,30 kN
KE IV	15,5 mm	16 à 40 cm	≥ 70 mm	≥ 15 mm	≥ 20 mm	45,30 kN	Non visé	20,70 kN

Où ϕ_1 correspond au diamètre de l'acier façonné de l'ancre de transport KE

Tableau 2 – Vérification de la résistance des boucles au levage

Situation de levage	Levage en position verticale ⁽¹⁾	Levage à plat	Retournement
Vérification	$CMU1 \geq \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$	$CMU2 \geq \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$	$CMU3 \geq \frac{1}{2} \frac{(p A + Q) \gamma_{ed} \gamma_{pp}}{n_b}$
Schémas cas de levage			

- ⁽¹⁾ La formule ci-dessus correspond à une disposition symétrique des boucles par rapport au centre de gravité. Dans les autres cas, on tiendra compte du positionnement des boucles pour la détermination des efforts.

p = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/m²]

A = surface du mur de coffrage intégré [m²]

Q = poids des équipements de sécurité éventuels [kN]

n_b = nombre de points de levage effectifs : 2 dans le cas courant, 4 dans le cas de levage avec 4 boucles et système équilibrant

γ_{ed} = coefficient d'effet dynamique dû au levage = 1,15

γ_{pp} = coefficient d'incertitude sur poids propre = 1,05

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Description du procédé

1.1 Principe

Le procédé de mur à coffrage et isolation intégrés pour façade « MUR 2000+ COMFORT » est constitué de deux parois en béton armé préfabriquées, d'épaisseur minimale 7 cm. Ces deux parois sont reliées par des organes de liaison :

- Des connecteurs en matériau composite (Ecarteurs) assurant la stabilité du panneau en phase provisoire
- Du système d'ancrage en acier inoxydable FIXI DOUBLE PEAU de la société FIXINOX (sous Avis Technique en cours de validité) composé par des ancrés de fixation (cylindres et/ou plats) et épingles, qui assure la stabilité du panneau en phase définitive.

La paroi extérieure préfabriquée en béton armé, sur laquelle un isolant est mis en œuvre en usine, est considérée librement dilatable. Son épaisseur minimale est de 70 mm.

Le vide entre la paroi préfabriquée intérieure et l'isolant, est complété par un béton armé coulé sur chantier constituant ainsi, une fois le béton atteint sa résistance, le noyau central du mur.

Les dimensions maximales (L x H) d'un élément sont de 10,00 m x 3,50 m et l'épaisseur maximale des murs est de 45 cm.

La paroi intérieure préfabriquée est d'une épaisseur minimale de 70 mm. Cette paroi est équipée d'une nappe d'armature et de raidisseurs espacés de 60 cm au maximum qui assurent le monolithisme avec le noyau coulé sur chantier.

L'épaisseur minimale de la paroi structurale (noyau + paroi intérieure préfabriquée) est de 160 mm pour les éléments porteurs, ou de 140 mm dans le cas d'éléments non-porteurs.

Conformément à l'Avis Technique du système FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité, l'épaisseur de l'isolant peut varier de 60 mm à 150 mm pour les éléments porteurs et 170 mm pour les éléments non-porteurs (en fonction de l'ancre porteuse utilisée). L'ancre porteuse (Cylindre ou plat) sera adaptée à l'épaisseur de l'isolant + épaisseur du noyau (voir 2.33). L'épaisseur maximum du vide (isolant + noyau) est de 240 mm.

Des armatures complémentaires de type poteau, linteau, rive, etc. peuvent être incorporées aux murs lors de la réalisation en usine ou rapportées lors de la mise en œuvre du béton du noyau sur chantier.

Les faces extérieures des parois sont du type béton brut de décoffrage, béton désactivé, béton sablé, béton matricé. Il est également possible de peindre ou d'enduire ces surfaces.

Des « accessoires » tels que les bâtis de menuiseries, les équipements électriques, les inserts, les réservations, etc... peuvent être incorporés lors de la réalisation en usine.

1.2 Domaine d'emploi

Le procédé de mur à coffrage et à isolation intégrée « MUR 2000+ COMFORT » est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses en infrastructure et en superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux et ils sont posés à l'avancement du chantier.

Les planchers du type dalle coffrée – coulé in situ, dalle coulée sur prédalle, planchers préfabriqués (type dalles alvéolaires) sont compatibles avec le procédé « MUR 2000+ COMFORT »

Le procédé « MUR 2000+ COMFORT » est destiné à la réalisation de bâtiments tertiaires, bâtiments scolaires, bâtiments de commerce, hôpitaux, logements individuels ou collectifs, bâtiments agricoles, bâtiments industriels.

L'utilisation du « MUR 2000+ COMFORT » est possible pour les ouvrages exposés aux embruns ou aux brouillards salins (classes XS).

Le « MUR 2000+ COMFORT » pourra comporter une partie enterrée de hauteur maximum 1 m, lorsque l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi au sens du DTU 20.1, partie 1 §7.4.2 (sous-sol de deuxième catégorie).

Le « MUR 2000+ COMFORT » est utilisable en zones sismique 1 à 4, pour des bâtiments de catégorie d'importance I à IV.

Le « MUR 2000+ COMFORT » présente une résistance au feu de 2 h conformément à l'appréciation de laboratoire feu AL17-282.

Les murs « MUR 2000+ COMFORT » peuvent être sollicités :

- a. Par des charges essentiellement dans leur plan, c'est le cas des murs, poteaux, poutres, poutres-voiles et acrotères.

- b. Par des charges perpendiculaires à leur plan (flexion simple ou composé), c'est le cas des murs des bâtiments de stockage.

1.3 Identification

Tous les éléments « MUR 2000+ COMFORT » sont munis d'une étiquette qui comporte, outre les informations requises au titre du marquage CE, les éléments suivants :

- La date de production
- Le poids de l'élément
- Le repère de l'élément
- Le nom du projet
- Le numéro et code du dossier de commande
- Le N° du plan
- Le nom de l'usine de production

2. Matériaux utilisés

2.1 Bétons

2.11 Béton des voiles préfabriquées

Pour la paroi intérieure et la paroi extérieure, réalisées en usine, le béton est de classe C40/50 et conforme à la norme NF EN 13369 et NF EN 206/CN et concernant les classes d'environnement.

La résistance caractéristique à la compression (sur éprouvette cubique 100x100x100 mm) minimale du béton des parois préfabriquée, avant la première manutention, doit être de 20 MPa.

La nature du ciment et son dosage sont adaptés à la classe d'exposition liée à la situation de l'élément dans l'ouvrage.

Granulométrie courante des agrégats : sable 0/4, graviers 2/10 et 10/14.

2.12 Béton de remplissage du noyau

Le béton de remplissage, coulé sur chantier, est un béton du type prêt à l'emploi (BPE) à propriétés spécifiées (BPS), conforme aux prescriptions de l'opération et à la norme NF EN 206/CN, de résistance caractéristique à 28 jours minimale est $f_{ck} = 25$ MPa (Classe de résistance C25/30).

Le diamètre maximal des granulats sera choisi en fonction de l'épaisseur du noyau coulé sur chantier ; la dimension nominale supérieure du plus gros granulats D_{max} doit satisfaire les conditions suivantes :

- pour des « MUR 2000+ COMFORT » avec un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm : micro-béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulats : $D_{max} = 12,5$ mm,
- pour des « MUR 2000+ COMFORT » avec un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm : $D_{max} = 16$ mm.

La classe du béton est S4 ou S5 conformément à la norme NF EN 206/CN ; la valeur recommandée d'affaissement est de 200 mm (portée à 220 mm dans des conditions de forte densité d'armatures ou de faible épaisseur du noyau béton). Dans le cas des BAP, toutes les classes d'étalement peuvent être utilisées.

2.2 Acier

2.21 Généralités

Tous les aciers sont conformes aux normes européennes NF EN 10080 et NF EN 10025, NF A 35 080-1, NF A 35 028 et sont certifiés AFCAB.

2.22 Armatures des parois

Aciers en bobines et barres, B500 Ø 6 à 32 mm.

La classe de ductilité de l'acier (A, B ou C) sera adaptée en fonction de la zone de sismicité et de la destination de l'ouvrage, conforme à la norme NF EN 10080.

Treillis soudés standard B 500 conforme à la norme NF EN 10080

L'enrobage des armatures est défini en fonction de la classe d'exposition et sera déterminé en fonction du milieu ambiant où sera mis en œuvre le mur « MUR 2000+ COMFORT ».

L'enrobage nominal est au moins égal à 20 mm sur la face extérieure de la paroi extérieure.

2.23 Raidisseurs métalliques

Les raidisseurs métalliques utilisés sont conformes à la norme européenne EN10025 et sont certifiés AFCAB, du type INTERSIG, BDW ou équivalent et de nuance d'acier B500A (hors exigences sismiques) ou B500B. Ils assurent la liaison entre la paroi intérieure et le noyau coulé sur chantier. L'espacement des raidisseurs est au maximum de 60 cm et la distance minimale au bord est de 30 cm.

Les critères de certification des raidisseurs sont les suivants :

- hauteur déclarée avec une tolérance +1/-3 mm sur cette dimension, conformément à la norme NF A 35-028.
- résistance des soudures : ce contrôle porte sur la résistance des soudures du treillis aux aciers longitudinaux inférieurs et supérieurs et doit être conforme aux prescriptions de l'article 7.3.3 de la norme NF A 35-028. La valeur des résistances au cisaillement à vérifier doit être conforme à la norme NF A 35-028 ou aux Avis Techniques mentionnés dans le certificat du raidisseur. Cette vérification sera faite statistiquement, dans un fractile de 5% et un niveau de confiance de 90%. De plus, la valeur minimale de chaque force de cisaillement mesurée F_{wi} des points de soudure dans un treillis raidisseur, ne doit pas être inférieure à 0,9 fois la valeur déclarée.

Les résistances de ces soudures doivent être supérieures aux valeurs données, en fonction des diamètres des diagonales, dans le tableau ci-après :

ϕ des Diagonales (sinusoïdales)	Résistance de la soudure R [daN]	Force disponible à la limite élastique F_s [daN]
$\phi 6$ mm	980	982
$\phi 6$ mm	1180	1414

La section des armatures hautes et basses des raidisseurs sera prise en compte dans la section minimale et mécanique des armatures parallèles aux raidisseurs.

2.24 Armatures complémentaires

Les armatures complémentaires de type poteau, linteau, rive, etc... peuvent être incorporées aux murs lors de la réalisation en usine ou rapportées dans le noyau lors de la mise en œuvre sur chantier.

Les résistances à la soudure déclarées doivent être au moins de 980 daN (arrondi à la dizaine inférieure de la valeur de la force disponible à la limite élastique pour une diagonale de diamètre 5 mm). Les raidisseurs sont certifiés NF ou équivalent par un organisme extérieur.

- le diamètre de la membrure supérieure du raidisseur est égal à 7, 8, 10 ou 12 mm,
- le diamètre des diagonales est égal à 5, 6 ou 7 mm,
- le diamètre des membrures inférieures est égal à 5, 6, 8 ou 10 mm.

Les cages d'armatures réalisées dans l'atelier d'armatures de l'usine font l'objet d'un contrôle interne qui porte sur la hauteur de la cage, les sections d'armatures, la position des armatures filantes et les rayons de cintrage.

Il convient de préciser que les cages préfabriquées sont mises en œuvre pour des applications spécifiques par exemple pour les murs présentant des fortes contraintes de cisaillement à l'interface parois/noyau ou en chevêtre d'ouverture.

Le choix du type de raidisseur se fera en fonction des critères suivants :

- Sollicitations de cisaillement à l'interface paroi préfabriquée et noyau coulé en place,
- Épaisseur du MCII

Des formes carrées ou rectangulaires sont réalisées à façon dans les usines.

Les armatures complémentaires à mettre en œuvre sur chantier seront à prévoir par l'entreprise de pose.

En cas d'utilisation de coupleurs d'armatures, ces derniers doivent bénéficier d'un certificat délivré par l'AFCAB.

2.3 Système de liaison

2.31 Généralité

Le Système pour mur à coffrage et isolation intégrés «MUR 2000+ COMFORT» est constitué de : (i) organes de liaison entre parois (écarteurs SYSPRO), (ii) d'organe d'ancrage (ancres porteuses FIXI DOUBLE PEAU) et de connexion entre paroi extérieure et noyau (épingles FIXI DOUBLE PEAU). Le système FIXI DOUBLE PEAU fait l'objet de un avis Technique en cours de validité.

Les écarteurs SYSPRO sont prévus pour :

- Fixer l'écartement des parois lors de la fabrication en usine,
- Maintenir l'écartement des parois lors du coulage du noyau (phase provisoire uniquement),

Les ancres porteuses FIXI Double Peau sont prévus pour :

- Reprendre le poids propre de la paroi extérieure
- Résister aux actions sismiques dans le plan

Les épingles FIXI DOUBLE Peau sont prévues pour :

- Résister aux actions du vent hors plan
- Résister aux actions sismiques hors plans

2.32 Ecarteurs SYSPRO

Fabriqués par la société BREIDENBACH, ils sont en matériau composite moulé (associant des fibres de verre constituant l'armature et de la résine constituant la matrice), constitués de barres de diamètre 16 mm.

Tableau 1 - Caractéristiques mécaniques des connecteurs SYSPRO

Modules de flexion et traction longitudinales	≥ 20000 MPa
Contrainte à la rupture en flexion longitudinale	178 MPa
Contrainte à la rupture en traction longitudinale	178 MPa
Contrainte à la rupture en compression longitudinale	527 MPa
Reprise d'eau	0,15%

Ces écarteurs ont pour fonction unique, le maintien de l'écartement des deux parois pendant les phases provisoire, jusqu'au bétonnage du noyau sur site.

Ces écarteurs répartis suivant un maillage carré maximal de 50 cm (au minimum 4 écarteurs/m²), ont pour rôle de :

- Garantir l'écartement des deux parois ;
- Reprendre les efforts de poussée du béton lors de la coulée du noyau sur site.

La distance minimale au bord est de 20 cm.

2.321 Résistance à la traction des écarteurs

La résistance à la traction des écarteurs est conforme aux essais réalisés par le laboratoire de l'université d'Hasselt en Belgique.

Pour un béton C20/25:

La résistance caractéristique à la traction est $N_{rk} = 10,8$ KN

La résistance caractéristique à l'ELU statique est :

$$N_{rk,st} = N_{rk} / (2 \times 1.2) = 4,5 \text{ KN}$$

Pour s'assurer de la tenue des parois lors de la coulée du noyau, la vitesse de coulée sera adaptée à la classe de consistance du béton afin de limiter à 4,5 kN l'effort agissant sur l'écarteur le plus chargé. De manière forfaitaire, la vitesse de bétonnage ne devra pas excéder 0,85 ml / heure.

2.322 Résistance au cisaillement des écarteurs

La raideur des écarteurs a été déterminée par essai et peut être considérée négligeable vis-à-vis de la raideur des plats d'ancrage FIXINOX. Par conséquent, ils n'empêchent pas la libre dilatation de la paroi extérieure et ils ne seront pas pris en compte dans le calcul des contraintes associées aux variations dimensionnelles liées à un effet thermique réglementaire sur la paroi extérieure.

2.33 Ancres porteuses FIXI DOUBLE PEAU

Le système d'ancrage est constitué d'organes métalliques, appelés ancres porteuse, en acier inoxydable, ancrés à leurs extrémités dans les deux parois en béton. Ce sont des plats FA ou des cylindres MA, fabriqués par la société FIXINOX conformément à l'Avis Technique en cours de validité.

En phase provisoire, l'ancre porteuse assure la tenue de la paroi extérieure. Le vide total isolant + noyau constitue la distance maximale admissible pour cette ancre. Par conséquence, l'épaisseur maximale isolant + noyau est de 240 mm (par exemple isolant de 150 mm et noyau de 90 mm).

Les performances mécaniques des ancres porteuses (cylindres MA et plats FA) sont indiquées dans l'Avis Technique dont relève le procédé FIXI DOUBLE PEAU.

Cylindre MA :

Les cylindres sont ancrés dans les peaux extérieure et intérieure à une profondeur d'ancrage qui varie suivant son diamètre, la hauteur du cylindre est déterminée en fonction de l'épaisseur finie du mur. L'ancrage est assuré à la fois grâce aux trous oblongs de scellement et les barres de répartition de 6 mm de diamètre en acier HA B500B qui traversent le cylindre dans des trous ronds de 8 mm de diamètre.

Le nombre et la longueur des barres varient en fonction du diamètre du cylindre.

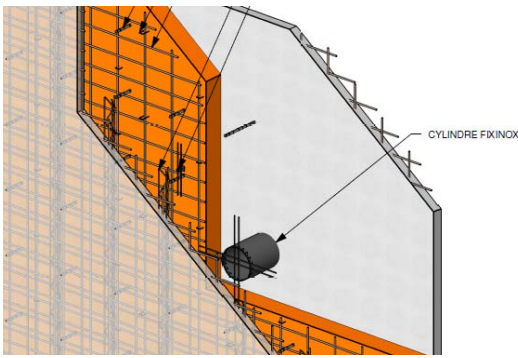


Figure 1 - Cylindres MA FIXINOX

Plats FA :

La profondeur d'ancrage des plats dans la peau extérieure et intérieure ainsi que la largeur des plaques sont fixées par l'Avis technique FIXINOX. Le nombre et la longueur des barres de répartition nécessaire ainsi que leurs passages sont conformes à l'Avis technique FIXINOX.

Les plaques jouent à la fois le rôle d'un ancrage porteur principal ou complémentaire et d'un ancrage anti-torsion. Elles possèdent des trous oblongs et ronds tout comme les cylindres, sauf dans le cas des plaques de 3 mm d'épaisseur, les trous oblongs sont remplacés par des trous ronds de 18 mm de diamètre.

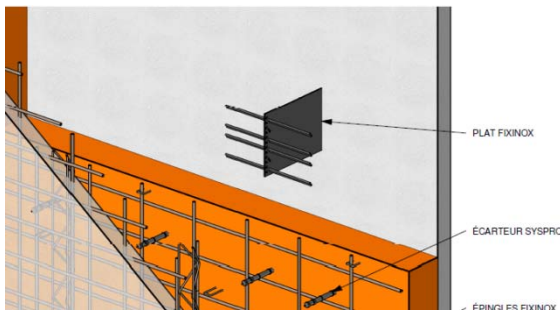


Figure 2 - Plats FA FIXINOX

2.34 Epingles NVH ou NVB FIXI DOUBLE PEAU

Les épingles maintiennent l'écartement entre la peau extérieure et le noyau coulé sur site et empêchent leur ouverture le long des bords. Elles assurent aussi la reprise de l'effort perpendiculaire à la face du panneau, elle se dispose disposent donc perpendiculairement à la peau extérieure. Elles sont ancrées dans la paroi extérieure et dans le noyau coulé sur site.

Le choix du diamètre, de la profondeur minimale d'ancrage et de la hauteur totale de l'épingle est réalisé conformément à l'Avis technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

L'entraxe des épingles ne doit pas dépasser 110 cm, leur distance au bord doit être supérieure à 10 cm et inférieure à 30 cm.

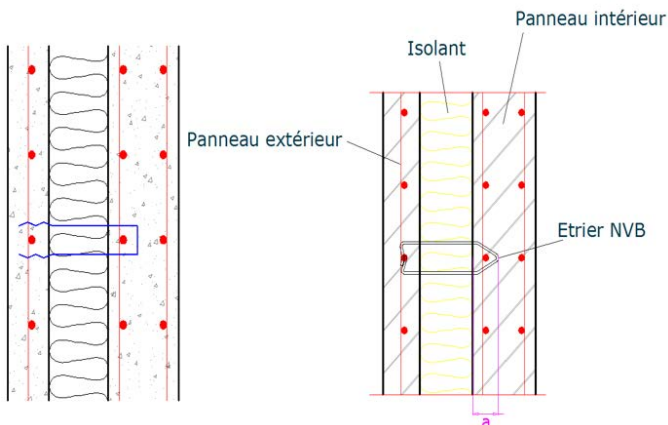


Figure 3 - Epingles NVH et NVB FIXINOX

2.4 Manutention et levage

La manutention, tant pour le décoffrage que le stockage, le transport et la pose des éléments est réalisée au moyen :

- Des organes de levage KE III et KE IV de la société H BAU pour la gamme couverte par l'Avis Technique en cours de validité (épaisseur totale du mur inférieure ou égale à 40 cm)

- Ou à partir d'autres organes de levage pour l'ensemble de la gamme, non couverts par le présent Avis Technique.

Un élément "Mur 2000+" comportera en partie supérieure au minimum 2 inserts de levage.

Pour les éléments de grande hauteur, devant être transportés sur chant, ils seront équipés au minimum de 2 inserts de levage en tête et de 2 inserts de levage sur chant.

Le retournement sur chantier se fera à l'aide d'un basculeur, mis à la disposition par la société KERKSTOEL.

Après pose des éléments, et avant bétonnage du noyau, les boucles de levage seront sectionnées dans l'épaisseur de l'isolant.

2.41 Stabilité en phase provisoire

Des douilles métalliques, filetées, sont scellées en usine dans la paroi intérieure pour assurer la liaison aux étais tire-pousse pendant les phases de montage et de bétonnage du noyau.

Le diamètre de ces douilles et leur position est déterminé par le Bureau d'Études KERKSTOEL, en fonction des efforts à reprendre

2.5 Isolants

L'isolant utilisé dans la fabrication des éléments "MUR 2000+COMFORT" se présente sous forme de panneaux rigides.

L'épaisseur d'isolant peut varier entre 60 mm et 150 mm.

Le classement ISOL de l'isolant suivant le référentiel ACERMI sera au minimum I₃S₁O₂L₃.

Les isolants sont certifiés ACERMI. Les isolants utilisés sont :

- Mousse de polyuréthane PUR ou PIR ;
- Polystyrène expansé ou extrudé ;
- Laine minérale de type laine de roche exclusivement sur le pourtour des ouvertures ;
- Mousse à base de résine phénolique du type Résol.

Les dispositions visant le respect de l'IT 249 sont assurées uniquement par l'utilisation de laine minérale de type laine de roche. La masse volumique nominale de la laine de roche doit être supérieure ou égale à 150 Kg/m³ conformément à l'IT 249. L'épaisseur de laine de roche est 100 mm.

Tout autre matériau présentant les caractéristiques ci-dessous pourra être utilisé :

- Rigidité suffisante pour permettre la découpe, le perçage et une mise en œuvre aisée.
- Résistance à la compression suffisante, pour éviter sa déformation lors du coulage du noyau ;
- Hydrophobe, pour éviter leur altération durant la phase de bétonnage du noyau.

Ces isolants seront certifiés ACERMI et répondront aux normes suivantes :

- Polystyrène expansé : norme NF EN 13163,
- Polystyrène extrudé : norme NF EN 13164,
- Mousse rigide de polyuréthane : norme NF EN 13165,
- Mousse à base de résine phénolique : norme NF EN 13166

2.6 Autres accessoires

- Rails d'ancrage métalliques du type HALFEN ou JORDAHL ;
- Coffrages pour réservations spécifiques (fenêtre, porte,...) ;
- Boîtiers et gaines électriques ;
- Cales d'armatures ;
- Boîtiers pour armatures en attente type STABOX certifiées NF AFCAB.
- Equerres métalliques en phase provisoire (§9.3 et Figures 32 et 53 du DTED) : Plats de section minimale 80 x 8 mm ou 100 x 8 mm percés, pliés et protégés par peinture anti-corrosion. La nuance de l'acier est S235 (selon NF EN 10025). La longueur minimale de chacune des deux branches de l'équerre est de 200 mm.

2.7 Joints d'étanchéité entre panneaux

Un système d'obturation de type cordon de mousse pourra être mis en place comme fond de joint à la pose des murs, tant sur la paroi intérieure qu'au droit de l'isolant, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage du noyau. Il n'est pas nécessaire de retirer ce cordon après durcissement du béton.

2.71 Paroi extérieure

La largeur des joints entre parois extérieures de deux panneaux adjacents est dimensionnée conformément au paragraphe §3.44 du Dossier Technique, pour éviter tout entrechoquement en cas de séisme ou de dilatation thermique.

La mise en place d'un joint d'étanchéité est nécessaire pour les joints verticaux et horizontaux. Le traitement du joint se fera à l'aide d'un joint souple de type élastomère ou autres.

À l'intersection entre joints horizontaux et verticaux, les joints seront interrompus afin d'aménager une ouverture pour évacuer les condensations et les eaux d'infiltration éventuelles.

Au droit du joint entre deux panneaux adjacents, il sera mis en place un complément d'étanchéité par bande collée formant bavette de rejet d'eau, pour empêcher les infiltrations d'eau au droit de l'isolant. (Voir schémas en annexe VI).

Cas mur courants en infrastructure : Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellement, les joints verticaux et horizontaux en contact avec le remblai sont traités avec un mortier de ciment mono composant complété d'une bande bitumineuse auto-adhésive à froid, résistante à la déchirure et à l'eau, et apte à protéger le joint du contact direct des terres et des eaux de ruissellement.

Un drainage sera systématiquement mis en œuvre pour collecter les eaux de ruissellement.

La paroi extérieure devra être fractionnée horizontalement au niveau supérieur de la partie enterrée.

2.72 Paroi intérieure

- Dans tous les cas un joint pré-comprimé doit être mis en place au droit de la paroi intérieure pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage du noyau.
- Pour les parois revêtues d'un doublage, le traitement des joints n'est pas nécessaire.
- Dans les autres cas, les joints seront traités à l'aide d'un mortier sans retrait.*
- En infrastructure, les joints seront traités selon les mêmes critères que les parements intérieurs des murs en superstructure.

2.8 Points singuliers

2.81 Tête de mur

Lorsque la partie supérieure de l'élément "Mur 2000+ COMFORT" constituant la tête du mur est exposée aux intempéries, elle sera alors protégée par un élément de couverture : chaperon en béton ou couvertine métallique.

Dans le cas des acrotères la présence d'un isolant en tête de murs et sur la paroi intérieure pour supprimer le pont thermique ne permettra que la mise en œuvre de couvertines métalliques.

2.82 About de mur

Lorsque l'élément "Mur 2000+ COMFORT" constitue l'about du mur, celui-ci sera alors protégé par un élément en béton ou en tôle, formant protection.

2.83 Ouvertures

Le chant des ouvertures telles que les menuiseries extérieures (fenêtre, portes, etc.) devront faire l'objet d'un habillage de protection.

2.9 Matériaux d'habillage ou traitement de parement

- Paroi extérieure : La face extérieure de la paroi est du type béton brut de décoffrage, béton désactivé, béton sablé, béton matricé. Il est également possible de peindre, de carrelé ou d'enduire les surfaces brutes de décoffrage.
- Paroi intérieure : finitions classiques sur béton brut de décoffrage.

3. Conception et Dimensionnement

3.1 Généralités

Le dimensionnement est réalisé selon les règles applicables aux éléments de structure en béton armé : NF EN 1992-1-1, DTU 23-1 (NF P 18-210), DTU 22.1 (NF P10-210), CPT MCI N°3690 du CSTB, Cahier 696 de l'UEAtc, EN 1990 – Eurocode 0, EN 1991 Eurocode 1, EN 1998 – Eurocode 8, EN 1990 – Eurocode 2, BAEL révisé 99.

La paroi extérieure du « MUR 2000+ COMFORT » est conçue pour être librement dilatables, ce qui exclut :

- Tout entrechoquement avec les panneaux adjacents ;
 - L'accrochage de charges lourdes directement sur cette paroi ;
 - De servir de support pour un relevé d'étanchéité.
 - Tout contact avec les menuiseries (fenêtres, portes,...)
- Les charges légères pourront être directement fixées sur la paroi extérieure, sous réserve d'une étude spécifique du Bureau d'Études KERKSTOEL.
- Le système d'ancrage est constitué d'ancres porteuses (Cylindres ou plats) constituant des points fixes qui s'opposent plus ou moins aux efforts développés dans le plan de la paroi extérieure (gradient thermique, séisme,...).

La longueur maximale de la paroi, et le positionnement des ancres sont déterminés par les Bureaux d'Études KERKSTOEL et FIXINOX en

fonction des contraintes maximales admissibles par l'ancre porteuse et le béton au droit de ses ancrages.

3.2 Dimensionnement des MURS 2000+ COMFORT

Un élément « MUR 2000+ COMFORT » comporte :

- Au minimum 2 ancres porteuses,
- Des épingles d'une densité minimale de 4 connecteurs/m², et répartis selon un maillage carré de 0,50 m x 0,50 m maximal.
- Des écarteurs répartis suivant un maillage carré maximal de 50 cm (au minimum 4 écarteurs/m²).

Dans le cas d'éléments non porteurs, les dimensions et le calepinage des panneaux sont déterminés par le bureau d'études KERKSTOEL en fonction des informations transmises par le bureau d'étude structure du chantier.

Dans le cas d'éléments porteurs, le bureau d'études structure du chantier calcule les efforts transmis aux éléments et détermine les épaisseurs béton et les sections d'armatures nécessaires à leur stabilité.

En fonction de ces informations, le bureau d'étude KERKSTOEL dessine les plans d'exécution des murs après avoir défini les épaisseurs des parois compatibles avec les sections d'armatures demandées. Le bureau d'étude KERKSTOEL vérifie les liaisons entre éléments et il dessine également les plans de calepinage des éléments.

Les boucles de levage sont représentées sur les plans de fabrication.

Ces plans précisent :

- Le nombre de points de levage
- La position des boucles de levage
- Le principe de levage (relevage sur chant par exemple)

3.21 Rôle des différents intervenants :

Le dimensionnement des panneaux (Hauteur, largeur et épaisseur des éléments) doit être réalisé par le bureau d'études KERKSTOEL, sur la base d'une étude de stabilité de l'ensemble de l'ouvrage réalisée par le bureau d'études de structures du chantier.

Les épaisseurs minimales de l'isolant sont déterminées par le bureau d'études thermiques du chantier.

L'épaisseur de la paroi structurelle est soumise à l'approbation du bureau d'études de structures du chantier.

Le calepinage des joints est effectué par le bureau d'études KERKSTOEL et soumis à l'approbation du bureau d'études de structures du chantier.

Le dimensionnement de la peau extérieure dilatable et des organes de liaison est réalisé conjointement par le bureau d'études FIXINOX et le bureau d'études KERKSTOEL. La largeur des joints (verticaux et horizontaux) sont déterminés par le bureau d'études FIXINOX en fonction des sollicitations sur l'ouvrage (séisme, dilatation thermiques,...).

Le bureau d'études de structures détermine les armatures structurelles.

Le bureau d'études KERKSTOEL établit les plans de ferrailages des panneaux, à partir des plans du bureau d'études de structures, des dispositions et règles de calcul propres au procédé.

Les plans de calepinage utilisés pour la pose des éléments, mentionnent la zone sismique, le type de sol et la catégorie d'importance du bâtiment pris en compte pour le dimensionnement des murs, des organes de liaison et de la largeur des joints. Ces plans mentionnent également la stabilité au feu pour laquelle les murs et les organes de liaison ont été dimensionnés.

3.3 Conception de-la paroi extérieure

3.31 Armatures minimales

La paroi extérieure comprend au minimum (L longueur de la paroi) :

- Verticalement : 1.4 cm²/ml pour L < 6 m
1.9 cm²/ml pour L ≥ 6 m
- Horizontalement : 1.4 cm²/ml pour L < 6 m
1.9 cm²/ml pour L ≥ 6 m
- Un espacement maximum entre barres de 33 cm

Ces valeurs sont minimales et majorées en fonction des sollicitations sur l'ouvrage.

3.32 Enrobage des armatures

Les enrobages des armatures des voiles préfabriqués doivent respecter les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale NF EN 1992-1-1/NA.

Pour les parois exposées, l'enrobage minimal sera défini en fonction de la classe d'exposition de l'ouvrage et de la classe de résistance du béton.

Pour les parois situées dans des locaux couverts, clos et non exposés aux condensations, l'enrobage minimal est de 1 cm.

3.33 Epaisseur de la paroi extérieure

La paroi extérieure d'un « MUR 2000+ COMFORT » possède une épaisseur nominale de 70 mm.

En tout état de cause, l'épaisseur de la paroi extérieure vérifiera l'inéquation suivante :

$$e_2 \geq e_{ext} + e_{int} + \phi_v + \phi_h + \Delta$$

, avec :

e_{ext} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (fonction de la classe d'environnement côté extérieur).

e_{int} : enrobage nominal de la paroi extérieure côté isolant (fonction de la classe d'environnement côté isolant).

ϕ_v et ϕ_h : diamètre des armatures verticales (v) et horizontales (h) disposées dans la paroi extérieure.

$\Delta = \sqrt{[(\Delta e^+)^2 + (\Delta e_2^-)^2]}$ où, les valeurs des tolérances retenues sont les suivantes :

- $\Delta e^+ = 3$ mm : tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure ;
- $\Delta e_2^- = 3$ mm : tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée ;

3.4 Dimensionnement du système de liaison

3.41 Généralités

Les raideurs et les résistances caractéristiques des différents organes de liaison (ancres porteuses et épingles) ont été déterminées à partir d'essais de traction et/ou de cisaillement réalisés par la société FIXINOX. Les valeurs de ces raideurs sont reprises dans les tableaux FIXINOX N°1 à N°11 des annexes.

3.42 Dimensionnement des éléments FIXI DOUBLE PEAU

Les ancres porteuses sont dimensionnées pour reprendre :

- Le poids propre de la paroi extérieure en tenant compte des surépaisseurs éventuelles liées à l'emploi d'une matrice ou des charges complémentaires induites par un parement complémentaire, noté G
- La sollicitation sismique horizontale dans le plan de la paroi, notée $E_{d,E}$

Les épingles du système FIXI DOUBLE PEAU sont dimensionnées pour reprendre des sollicitations horizontales perpendiculaires au plan de la paroi

3.421 Vérification des ancres porteuses à l'ELU statique sous le poids propre

La vérification est réalisée par le bureau d'études FIXINOX conformément à l'Avis Technique en cours de validité, et à l'aide de la formule suivante :

$$V_{ELU,stat} \leq V_{Rd,stat} \times n$$

Avec :

$$V_{ELU,stat} = 1,35G$$

n : nombre d'ancres porteuses

$V_{Rd,stat}$: Résistance statique en cisaillement des ancres porteuses (Avis Technique du système FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité).

NOTA : Les efforts appliqués sur les ancres doivent tenir compte de la position du centre des raideurs par rapport au centre de gravité de la paroi extérieure. En cas d'excentrement, l'effort de cisaillement sollicitant les ancres sera la résultante d'une composante verticale et d'une composante horizontale dues au poids propre.

3.422 Vérification des ancres porteuses à l'ELU sismique

La vérification est réalisée par le bureau d'études FIXINOX conformément à l'Avis Technique du système FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité, et à l'aide de la formule suivante :

$$V_{ELU,dyn} \leq V_{Rd,dyn} \times n$$

Avec :

n : nombre d'ancres porteuses

$V_{Rd,dyn}$: Résistance dynamique en cisaillement des ancres porteuses (Avis Technique du système FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité).

$$V_{ELU,dyn} = E_{d,E}$$

avec :

$$E_{d,E} = k_a \times G$$

L'action sismique horizontale dans le plan de la paroi :

G : poids total de la paroi extérieure (y compris sur-épaisseur béton due à une éventuelle matrice ou le poids supplémentaire du revêtement extérieur)

k_a : coefficient déterminé dans les tableaux suivants :

		Catégorie d'importance du bâtiment : II				
		classe de sol				
zone sismique		A	B	C	D	E
	3		0,62	0,83	0,93	0,99
4		0,90	1,21	1,35	1,44	1,61

		Catégorie d'importance du bâtiment : III				
		classe de sol				
zone sismique		A	B	C	D	E
	2		0,47	0,64	0,71	0,75
3		0,74	1,00	1,11	1,18	1,33
4		1,08	1,45	1,61	1,72	1,94

		Catégorie d'importance du bâtiment : IV				
		classe de sol				
zone sismique		A	B	C	D	E
	2		0,55	0,74	0,82	0,88
3		0,86	1,17	1,30	1,38	1,55
4		1,26	1,7	1,88	2,01	2,26

Les coefficients sont déterminés en considérant les hypothèses enveloppes suivantes :

$$q_a = 1$$

Classe de sol E pour la valeur du paramètre de sol

Coefficient d'importance $\gamma_a = 1$

$$T_a/T_1 = 1$$

$$z/H = 1$$

NOTA : Les efforts appliqués sur les ancres doivent tenir compte de la position du centre des raideurs par rapport au centre de gravité de la paroi extérieure. En cas d'excentrement, l'effort de cisaillement sollicitant les ancres sera la résultante d'une composante verticale et d'une composante horizontale dues à l'action sismique horizontale.

3.423 Vérification des épingles aux charges appliquées perpendiculairement au plan de la paroi extérieure (vent, séisme)

La vérification est réalisée par le bureau d'études FIXINOX qui définit le nombre d'épingles et l'entraxe, conformément à l'Avis Technique du système FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

3.424 Rôle des intervenants

Le bureau d'études KERKSTOEL dessine les plans de calepinage et les plans de chaque élément constituant ce calepinage et les propose au bureau d'étude FIXINOX pour dimensionnement des organes d'ancrage et des épingles.

Le bureau d'études KERKSTOEL transmet également les conditions de charges, d'environnement et de situation géographique de l'ouvrage.

En fonction de ces éléments, la société FIXINOX se charge du dimensionnement et de l'implantation des ancrages dans les panneaux, conformément à l'Avis Technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU. Elle fournit une fiche de fabrication pour chaque panneau.

La fiche de fabrication comprend les types d'ancrages à intégrer, les recommandations de leur mise en place ainsi que leurs positions dans les panneaux.

Tel que prévu par l'avis technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité, la société FIXINOX restes à l'écoute de l'industriel, pour répondre à toutes ses interrogations sur l'intégration de son système ainsi que sur le procédé MCI1.

Deux exemples de calcul sont donnés en annexe (exemples N°1 et N°2) pour un panneau aveugle et pour un panneau avec ouverture.

3.43 Vérification sous variation dimensionnelle

La paroi extérieure subit des variations dimensionnelles liées à un effet thermique réglementaire défini selon la norme NF 1991-1-5. Il convient alors de vérifier la compatibilité de ces déplacements avec la présence des organes de liaison.

Le principe est de permettre une libre dilatation (ou raccourcissement) de la peau extérieure sans résistance notable des ancrages. Pour cela, la contrainte dans les ancrages métalliques, due au déplacement imposé par les mouvements de la peau extérieure, ne doit pas dépasser la contrainte limite élastique du matériau. Les déformations sont ainsi réversibles.

La vérification de la distance entre le pôle dilatation et les ancrages (plats) ou et/épingle doit être réalisée conformément à l'Avis Technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

3.44 Non-entrechoquement des parois

En zone sismique, lorsque le système d'ancrage est constitué de plats, un plat anti couple est utilisé en position horizontale dans le panneau, afin de limiter le déplacement de la paroi extérieure et empêcher son entrechoquement avec les panneaux voisins.

Pour le calcul, la charge admissible et la raideur de l'ancrage qui reprend une action sismique seront déterminées par l'Avis Technique du procédé FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

C'est également le cas lorsque l'ancrage est constitué d'un seul cylindre. Comme cette fixation est unique, il est nécessaire de prévoir une ancre plate, positionnée verticalement, afin d'éviter au panneau extérieur de pivoter autour du cylindre.

La largeur u_j du joint entre les parois librement dilatable devra respecter la règle suivante :

$$u_j \geq \max \left\{ \alpha \cdot \Delta T \cdot L_{max} + 5 \text{ mm} + \Delta_{fabrication} ; 2 \cdot u_{sis} + 5 \text{ mm} + \Delta_{fabrication} \right\}$$

avec $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (coefficient de dilatation thermique du béton), $\Delta T = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$ (variation de température), L_{max} la distance entre deux points fixes successifs de panneaux encadrant un joint, u_{sis} le déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique (éviter les risques d'entrechoquement, vibration en opposition de phase), 5 mm les tolérances de pose et $\Delta_{fabrication}$ les tolérances de fabrication des panneaux (variables suivant les dimensions des panneaux : voir §4.4).

La largeur des joints u_j entre les peaux librement dilatables devra être déterminée de façon à ce que le déplacement des parois extérieures sous sollicitations sismiques u_{sis} soit inférieur à $u_j/2$ (avec prise en compte des tolérances de pose) afin d'éviter le risque d'entrechoquement entre deux panneaux contigus :

$$u_{sis} = E_{d,E,ind} / K_{dyn}$$

avec :

u_{sis} : déplacement du panneau extérieur sous sollicitation sismique

$E_{d,E,ind}$: effort afférent à une ancre porteuse en situation d'actions sismiques horizontales

K_{dyn} : raideur moyenne en cisaillement dynamique d'une ancre porteuse (Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité)

Pour une simplification des études, la dimension du joint entre voiles préfabriqués structurels peut être considérée comme égale à la dimension du joint entre voiles extérieurs librement dilatables.

Voir exemple de calcul N°3 en annexe.

4. Dimensionnement de la paroi structurelle

4.1 Prescriptions communes aux différents éléments

4.1.1 Généralité

La partie structurelle est constituée de la paroi intérieure et du noyau coulé sur chantier.

Le dimensionnement de la partie structurelle est réalisé par le Bureau d'Étude Structure du chantier, il devra calculer les efforts transmis aux éléments et définir les équarissages et sections d'armatures nécessaires à leur stabilité, ainsi que les sections d'armatures à mettre en œuvre au droit des joints.

A l'exception des prescriptions données dans ce document, les « MUR 2000+ COMFORT » sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé (Eurocodes, DTU 23.1 et DTU 14.1) en flexion simple ou composée avec le cas échéant une vérification de la stabilité de forme.

La vérification du cisaillement à l'interface paroi/noyau est effectuée suivant le CPT MCI (cf. § A.1.2.c et Annexe 4).

Les liaisons doivent assurer la continuité mécanique entre :

- Les fondations et le Mur 2000+ COMFORT
- Entre deux éléments de Mur 2000+ COMFORT
- Entre le Mur 2000+ COMFORT et les éléments linéiques structurels préfabriqués.
- Entre le Mur 2000+ COMFORT et les éléments surfaciques structurels préfabriqués.

Le procédé « MUR 2000+ COMFORT » est conçu de telle sorte que chacune des parois extérieures en béton soit librement dilatable grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre panneau.

Lorsque c'est nécessaire le vide rempli de béton sur chantier (noyau) pourra être équipé d'une nappe d'armature lors de la fabrication du Mur 2000+ COMFORT

4.12 Résistance caractéristique du béton équivalent

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du « MUR 2000+ COMFORT », la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurelle du mur correspond à :

$$f_{c,eq28} = \min \left(f_{c,p} - 3 \times 10^{-4} \times E_{v,n} \left(1 + \frac{3b_1b_n}{(b_1 + b_n)^2} \right), f_{c,n} \right)$$

avec :

$f_{c,p}$ = résistance caractéristique du béton des voiles préfabriqués

$f_{c,n}$ = résistance caractéristique du béton du noyau

$E_{v,n}$ = module élastique différé du béton du noyau

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments réalisés en « MUR 2000+ COMFORT » ou incorporés dans le « MUR 2000+ COMFORT » (poteau, poutre, poutre voile...).

Au niveau des joints entre les « MUR 2000+ COMFORT », ou entre le « MUR 2000+ COMFORT » et autre structure (radier...) la résistance caractéristique équivalente $f_{c,eq28}$ à 28 jours, prise en compte est égale à $f_{c,n}$.

Au droit des joints entre « MUR 2000+ COMFORT » ou entre « MUR 2000+ COMFORT » et parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurelle du mur, réduite de la largeur du chanfrein éventuel dans les cas suivants :

- le joint présente une largeur minimale de 3 cm
- la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{c,n}$ prise en compte dans les calculs.

Dans les autres cas, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau.

La section résistante en cisaillement est dans tous les cas égale à la section du béton du noyau.

La hauteur utile du mur prise en compte dans les calculs est évaluée en fonction des dispositions prises pour le remplissage effectif des joints de calage, déduction faite des enrobages et des positions relatives des armatures.

Les dispositions propres à chaque élément « MUR 2000+ COMFORT » sont décrites dans les paragraphes correspondants.

Sauf calcul spécifique justifiant des valeurs différentes, l'épaisseur de la partie structurelle (paroi structurelle + noyau coulé sur chantier), dans le cas de murs porteurs, doit être comprise entre 16 et 32 cm.

4.13 Flambement – Effet du second ordre

La prise en compte des effets du second ordre dus au retrait différentiel du béton du noyau coulé en place par rapport au béton de la paroi n'entraîne pas de modification de la capacité résistante du mur lorsque l'on se trouve dans le domaine d'emploi suivant :

Epaisseur de la partie structurelle :	16 cm	22 cm	26 cm
Hauteur limite du mur MCI1 :	4 m	5 m	7 m

Au-delà de ces valeurs, la détermination de la capacité portante du « MUR 2000+ COMFORT » doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle e_{add} égale à :

$$e_{add} = \frac{1.5 \times 10^{-4} \times E_{v,n}}{EI_{eq}} \times \frac{b_n \times b_1}{16} \times H^2$$

Avec :

$$EI_{eq} = \frac{E_{v,1}}{4} \times \left(\frac{b_1^3}{3} + b_1 \times b_n^2 \right) + \frac{E_{v,n}}{4} \times \left(\frac{b_n^3}{3} + b_n \times b_1^2 \right) \quad \text{et } H = \text{hauteur du mur}$$

4.14 Armatures minimales

La paroi intérieure comprend au minimum :

- 1.4 cm²/ml d'aciers verticaux (0.2% de la section béton)
- 1.4 cm²/ml d'aciers horizontaux (0.2% de la section béton)
- Un espacement maximum entre barres de 33 cm

Ces valeurs sont minimales et majorées en fonction des sollicitations provisoires ou définitives sur l'ouvrage.

Des raidisseurs métalliques certifiés NF AFCAB, du type INTERSIG, BDW ou équivalent et de nuance d'acier B500A (hors exigences sismiques) ou B500B ou des cages d'armatures assurent la liaison entre la paroi préfabriquée intérieure et le noyau coulé sur chantier. La section d'armature des raidisseurs pourra être prise en compte dans la section minimale et mécanique des armatures parallèles aux raidisseurs.

4.15 Epaisseur de la paroi structurelle et enrobages

4.151 Epaisseur minimales

Les épaisseurs minimales considérées dans ce paragraphe sont des valeurs minimales toutes tolérances épuisées.

L'épaisseur minimale des parois préfabriquées résulte des exigences d'enrobage et des tolérances d'exécution sur cette dimension et sur le positionnement des armatures. Les expressions des tolérances résultantes Δb_1 sur l'épaisseur de la paroi intérieure est donnée au paragraphe §7.4

L'épaisseur nominale de la peau de parement doit être supérieure ou égale à 7 cm afin de garantir un ancrage correct des ancrés.

L'épaisseur minimale du noyau coulé en place est fixée à 6 cm. Cette épaisseur minimale correspond à une épaisseur nominale de 7,5 cm avec les tolérances communément admises de 1,5 cm

4.152 Enrobage des raidisseurs

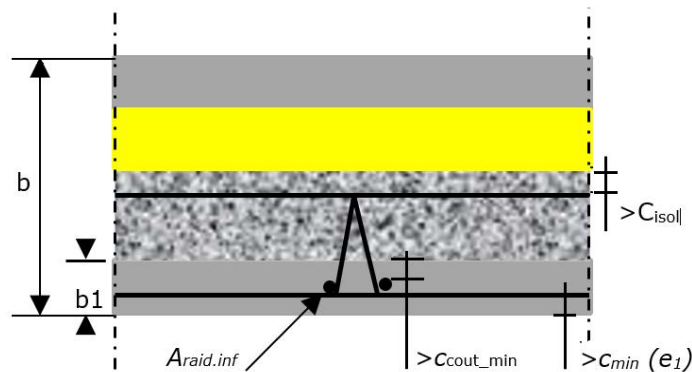


Figure 4 - Définition des enrobages

L'enrobage des raidisseurs permet de respecter l'exigence vis-à-vis des coutures entre le voile préfabriqué et le béton coulé en place : C_{cout_min}

A l'interface peau/noyau, l'enrobage minimal des armatures longitudinales d'un treillis raidisseur est égal à $C_{cout_min} = 10$ mm.

Les valeurs d'enrobage nominal sont déterminées à partir des valeurs d'enrobage minimal définies en tenant compte des tolérances d'exécution Figure 4 soient :

- Δe_1^+ la tolérance en plus sur l'enrobage e_1 en face structurelle
- Δe_1^- la tolérance en moins sur l'enrobage e_1 en face structurelle ;
- Δb_1^- la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurelle ;

Les valeurs de tolérances ci-dessus sont, par défaut, prises égales à :

- $\Delta e_1^+ = 3$ mm ;
- $\Delta b_1^- = 3$ mm ;

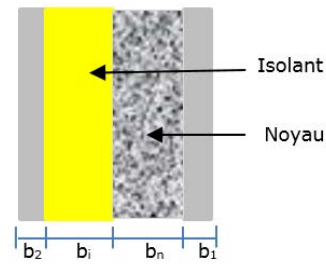


Figure 5 : Définition des épaisseurs

L'épaisseur du voile préfabriqué structurel doit vérifier l'inégalité suivante :

$$b_1 \geq c_{cout_min} + e_1 + \phi_{t1} + \phi_{raid.inf} + \Delta_1$$

$$\text{avec : } \Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 4,3\text{mm}$$

Avec :

- b_1 = l'épaisseur nominale de la peau coffrante structurelle ;
- e_1 = l'enrobage nominal en face structurelle ;
- C_{cout_min} = l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la peau coffrante ;
- ϕ_{t1} = le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la peau coffrante côté noyau coulé en place, de section A_{t1} ;
- $\phi_{raid.inf}$ = le diamètre des armatures inférieures du raidisseur, de section $A_{raid.inf}$.

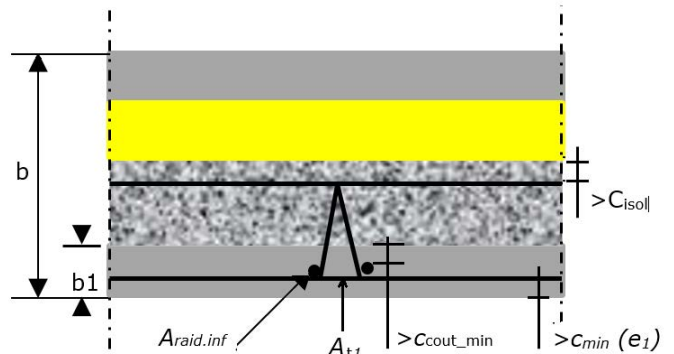


Figure 6 : Définition des chaînes de cotes

4.16 Calepinage des « MUR 2000+ COMFORT »

Le calepinage des MCII est conçu :

- en tenant compte des dimensions maximales de panneaux de 10,00 x 3,50 m
- en veillant à ne pas réduire la raideur du mur dans le sens porteur privilégié
- en tenant compte des capacités de la grue de levage sachant que le poids d'un MCII avec deux parois de 7 cm = 350 kg/m²

Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan vertical, les joints horizontaux sont disposés en proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées,...), sauf dispositions particulières. Les joints verticaux sont sans incidence.

Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, les joints verticaux sont disposés en proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets,...), sauf dispositions particulières. Les joints horizontaux sont sans incidence

Pour une simplification des études la dimension du joint entre parois structurelles est égale à la dimension du joint entre parois extérieures librement dilatables.

4.17 Chevillage

Il appartient au Maître d'œuvre ou au BET de vérifier que l'ouvrage support, c'est-à-dire le « MUR 2000+ COMFORT », est apte à reprendre les charges transmises par les chevilles et comporte les dispositions éventuelles nécessaires à leurs transferts.

Les chevilles implantées perpendiculairement au plan de reprise peau/noyau sont ancrées totalement dans l'épaisseur de la partie structurelle (noyau coulé en place + lame structurelle).

La vérification en traction doit être faite en considérant l'épaisseur à fixer comme étant l'épaisseur de la platine augmentée de l'épaisseur de la peau. La vérification en cisaillement est effectuée en considérant uniquement l'épaisseur de la platine comme épaisseur à fixer.

Le chevillage dans la peau de parement est à proscrire sauf dispositions particulières prises lors de la conception.

Un chevillage parallèle au plan de reprise n'est autorisé que dans la partie béton coulé en place. La présence des voiles préfabriqués est ignorée pour le dimensionnement de la cheville non prévue lors de la conception.

4.18 Liaisons structurelles sur « Mur COMFORT 2000+ »

Les éléments assemblés sur chantier tels que plancher, balcon, poutre, linteaux, console... en « MUR 2000+ COMFORT », préfabrication traditionnelle ou coulés sur chantier et prenant appui ou s'ancrant dans un « MUR 2000+ COMFORT » doivent être conçus de façon à solliciter uniquement la partie structurelle (paroi intérieure + noyau coulé en place) du « MUR 2000+ COMFORT ».

Dans le cas où l'on traverse ou passe par-dessus la paroi librement dilatable, un espace correspondant au joint minimal doit être ménagé entre les éléments venant s'ancrer et la paroi librement dilatable. La paroi librement dilatable n'est pas conçue pour reprendre un effort autre que celui induit par le poids propre de la paroi librement dilatable en situation sismique.

4.19 Principes constructifs

4.191 Utilisation de raidisseurs en substitution des chaînages façonnés.

Les renforcements des bords libres verticaux usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5 du DTU 23.1 pourront être réalisés dans les « MUR 2000+ COMFORT » à l'aide des raidisseurs (Cf Figure 8).

Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans les parois du MUR 2000+ COMFORT ». Les U de fermeture constructifs sont remplacés par des raidisseurs.

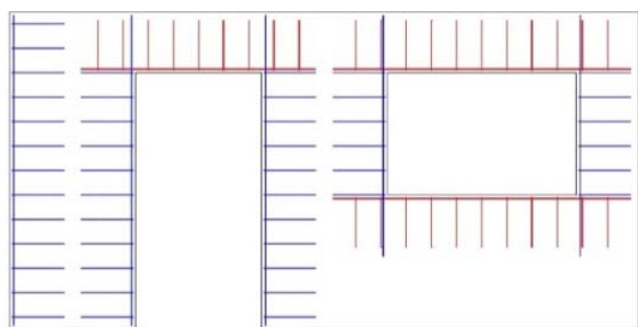
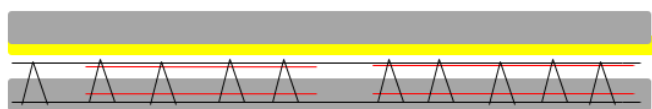
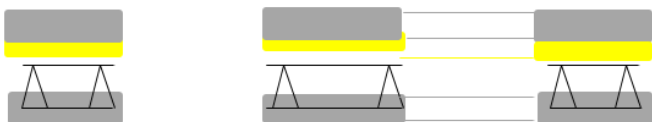


Figure 7 – Solution traditionnelle

Coupe A-A



Coupe B-B



Coupe C-C

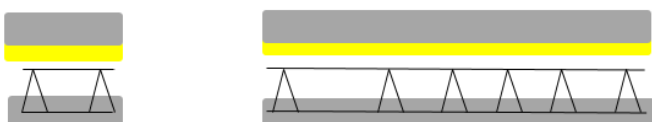


Figure 8 – Solution « Mur 2000+ COMFORT »

Les armatures constructives constituées de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisées dans les MCII à l'aide des raidisseurs. Les filants sont soit intégrés en renfort dans les parois des MCII, soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

Les U, cadres, épingles et étriers constructifs sont remplacés par des raidisseurs.

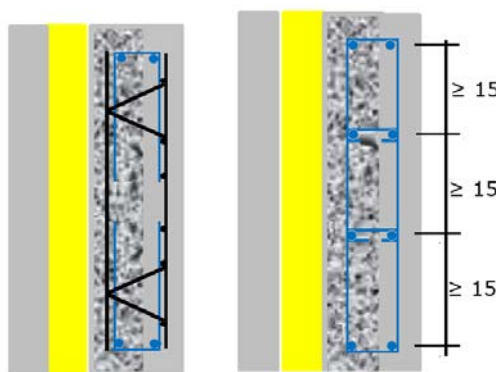


Figure 9 - Armatures de poutre solution « MUR 2000+ COMFORT »

Nota : La solution présentée à la Figure 9 (droite) n'est valable que pour une hauteur de poutre $h \leq 1\text{m}$. La section d'armature équivalente est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.

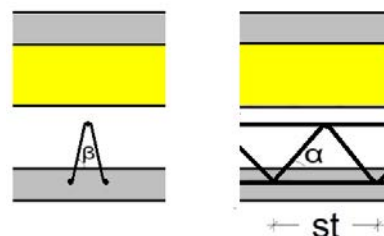


Figure 10 - Géométrie du raidisseur

$$A_s = 4 \times F_s \times \frac{\sin \alpha \times \sin \beta}{s_t \times f_e}$$

Avec : $F_s = \text{Min}(A_{Di} \times R_{e,Di}; F_w)$

f_e : limite élastique des épingles

$R_{e,Di}$: limite apparente d'élasticité de la diagonale du raidisseur

A_{Di} : section nominale de la diagonale du raidisseur

F_w : Résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du raidisseur

4.192 Façonnage des armatures

Aciers Structuraux

L'ancrage des barres longitudinales doit être conforme à l'article 8.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

Le dimensionnement de l'ancrage des armatures dans le noyau est réalisé en considérant un coefficient d'adhérence η_1 égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence η_1 est égal à 1.

Il y a lieu de tenir compte également de l'enrobage intérieur de l'armature dans le voile préfabriqué via l'introduction d'un coefficient α_7 égal à :

- 1 si l'enrobage minimal de l'armature de structures est supérieur à 10 mm par rapport à la surface de reprise ;
- 1,25 si l'armature est tangente à la surface de reprise ;
- 2 si l'armature est sécante à l'interface de reprise.

La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut $\alpha_7 l_{bd}$, avec la longueur d'ancrage de calcul l_{bd} définie à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale.

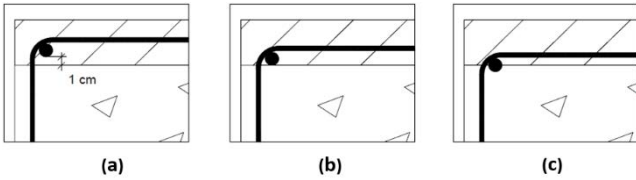


Figure 11 - Enrobage des armatures de structure et périmètre utile

NOTE : Dans le cas d'utilisation en poutre-voile, seule la première configuration peut être retenue.

Attentes verticales pour murs et poteaux.

Les armatures en attente et les armatures de liaison sont disposées de manière à respecter un enrobage minimal autour de ces armatures de 15 ou 30 mm selon la classe d'exposition de l'ouvrage. Cet enrobage C_g est compté à partir de la face intérieure de la paroi intérieure coffrante, d'une part et de l'isolant d'autre part.

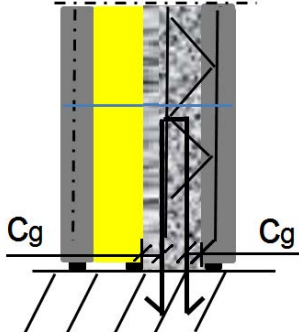


Figure 12 - Position des armatures en attente dans un « MUR 2000+ COMFORT »

4.193 Recouvrement d'armatures

Suivant CPT MCI (Cahier du CSTB 3690 V2) § 1.1.1.1.11

4.194 Eclissage des armatures

Suivant CPT MCI (cahier du CSTB 3690 V2) §1.1.1.12.

Ces armatures sont soit intégrées dans les « MUR 2000+ COMFORT », soit mises en œuvre dans la partie coulée en place. Lorsqu'elles sont mises en œuvre dans la partie coulée en place, le nombre maximal de barres est de 2 par lit et le diamètre maximal ϕ_{max} est donné par l'expression suivante :

$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{h1} - a_{h2}}{2} \text{ pour les armatures horizontales (Figure 25)}$$

$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{v1} - a_{v2}}{2} \text{ pour les armatures verticales (Figure 26)}$$

avec :

- $b_{n,min}$ l'épaisseur minimale du noyau, toutes tolérances épuisées.
- e_0 tel que $e_0 = 0$ si les armatures sont accolées et $e_0 = 1,7D_{max}$ elles sont espacées
- $a_{h1}, a_{h2}, a_{v1}, a_{v2}$: valeurs conventionnelles de l'enrobage prenant en compte les variations dimensionnelles de l'armature et de son positionnement :
 - $a_{h1} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e1} - 15mm$
 - $a_{h2} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15mm$
 - $a_{v2} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15mm$
- a_{e1} l'enrobage minimal de l'armature de liaison côté paroi structurelle et a_{e2} l'enrobage de l'armature de liaison côté isolant. Ces valeurs définies aux paragraphes 3.51 et 0 prenant les valeurs de 15 mm ou 30 mm selon la destination de l'ouvrage et les conditions d'utilisation (exposition des parois, traitement du joint...).

NOTE : la valeur de $b_{n,min}$ se déduit de l'épaisseur nominale du noyau b_n , des tolérances en plus sur les épaisseurs des voiles $\Delta b_1^+, \Delta b_2^+$ et de la tolérance en moins du MCI Δb^- suivant l'expression suivante :

$$b_{n,min} = b_n - \sqrt{(\Delta b^-)^2 + (\Delta b_1^+)^2 + (\Delta b_2^+)^2}$$

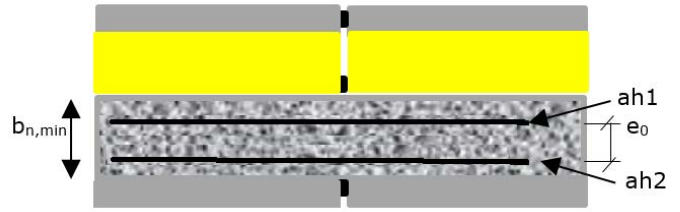


Figure 13 - Exemple d'éclissage des armatures horizontales

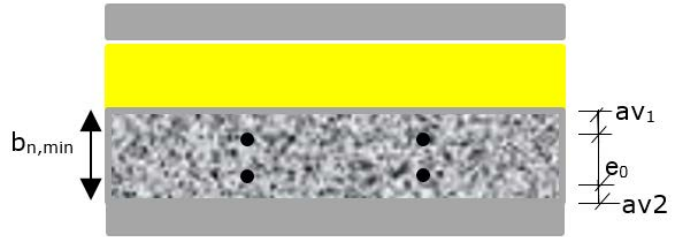


Figure 14 - Exemple de l'éclissage des armatures verticales

Ces dispositions permettent d'assurer, toutes tolérances épuisées un espace de 2,5 cm entre les armatures et la face intérieure de la peau structurelle d'une part, et entre les armatures et l'isolant d'autre part. Les deux armatures peuvent être remplacées par une seule de section équivalente.

Les armatures d'éclissage doivent être maintenues dans l'axe du noyau.

Les longueurs de recouvrement des armatures d'éclissage seront majorées de 20% pour prendre en compte les tolérances de positionnement des armatures dans le noyau.

4.110 Dispositions parasismiques

4.1101 Principe général

Conformément à l'avis technique FIXI double peau, les « Murs 2000+ COMFORT » peuvent être utilisés en zones sismiques 1 à 4.

Dans le cas où le référentiel de calcul au séisme est l'Eurocode 8, la classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de cette réglementation. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments sismiques primaires pour lesquelles il ne peut pas être employé d'armature du type B500A.

Nota : la peau extérieure librement dilatable n'est pas un élément sismique primaire.

Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments principaux, c'est-à-dire les murs participant à la résistance aux actions sismiques d'ensemble ou dans la distribution de ces actions au sein de l'ouvrage. Pour les murs considérés comme éléments secondaires, les liaisons entre panneaux sont similaires aux liaisons préconisées en dehors des zones sismiques.

Lors d'un séisme, les voiles ont pour rôle, outre leur fonction d'élément porteur vis-à-vis des charges verticales, de constituer un contreventement vertical du bâtiment en assurant les deux fonctions suivantes :

- De former un diaphragme dans leur plan afin de transmettre les efforts sismiques horizontaux acheminés par les planchers vers les fondations.
- De maintenir la cohérence et le monolithisme de la structure.

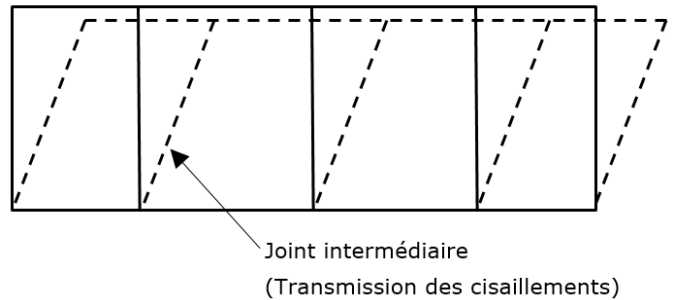
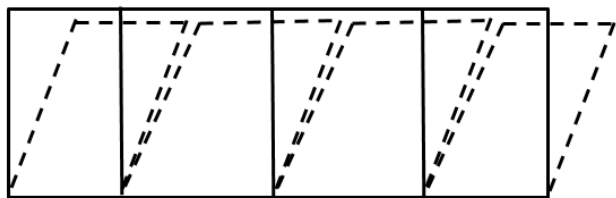


Figure 15 - Schéma d'un comportement monolithique des panneaux



Non transmission des cisaillements dans le joint vertical. Passage des efforts dans les chaînages horizontaux.

Figure 14 – Comportement indépendant des panneaux

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans les murs « MUR 2000+ COMFORT ».

4.1102 Stabilité d'ensemble

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un voile réalisé en « MUR 2000+ COMFORT » peut se baser sur la section homogène équivalente au voile banché substitué.

Dans le cas de figure où le voile est libre sur l'un de ces côtés, on pourra se reporter à la vérification de la stabilité de forme effectuée pour les poutres voiles.

A défaut de justifications par le calcul, le « MUR 2000+ COMFORT » peut être assimilé à un voile banché de section homogène équivalente à condition de respecter les dispositions et justifications exposées dans les paragraphes suivants, qui correspondent au cas par défaut.

4.1103 Dispositions dans les joints horizontaux

A défaut de justifications par le calcul, les liaisons horizontales sont prosrites hors plancher.

Dans le cas de justifications par le calcul, l'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié (voir méthode de calcul proposée à l'annexe IV). Cette vérification permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié.

4.1104 Dispositions dans les joints verticaux droits

Les liaisons verticales entre deux panneaux successifs sont justifiées d'après la méthode de l'Annexe V : Exemple de calcul des efforts résistant des joints entre murs COMFORT 2000+.

A défaut de justifications par le calcul, les liaisons verticales doivent répondre aux dispositions suivantes: réalisation de poteaux au droit des joints (Figure 16) dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des raidisseurs de rives. La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport épaisseur structurelle / épaisseur du noyau coulé en place, soit $\left(\frac{b_1+b_n}{b_n}\right)$.

Les poteaux doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage. Toutes les liaisons mobilisant un encastrement entre panneaux peuvent aussi être utilisées dans ce cas de figure. La section des filants verticaux est au moins égale au tiers de la section des armatures horizontales.

4 filants mis en place sur chantier

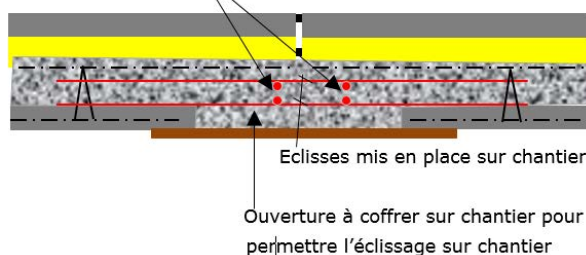


Figure 16 - Liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

4.1105 Liaison entre MCII au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non glissement du mur par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, le joint doit être vérifié au cisaillement conformément à l'article 5.4.3.5.2(4) de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe nationale sur la base du noyau du MCII.

4.1106 Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs MCII

Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans le « MUR 2000+ COMFORT » ou mis en œuvre par le biais des armatures de coutures.

Le choix entre ces deux solutions sera fonction de la section du tirant, de l'épaisseur du « MUR 2000+ COMFORT » et des contraintes de mise en œuvre.

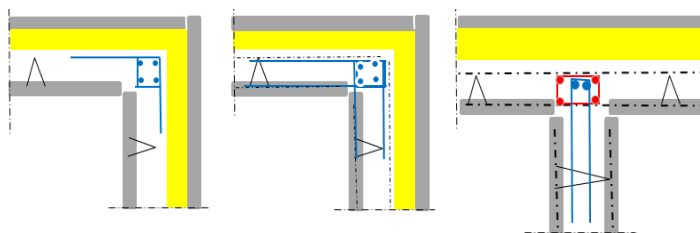


Figure 17 - Liaison d'angle avec chaînage sismique

Figure 18 - Liaison d'angle sismique couturée

Figure 19 - Liaison en T avec chaînage sismique

4.1107 Les chaînages

Les dispositions minimales des NF EN 199861 et son annexe nationale NF EN 199861/NA doivent être respectées, notamment l'utilisation d'armature e type B 500B, B450B et B450C :

A chaque extrémité de mur est prévu un chaînage vertical (CV) en acier B500B ainsi qu'au droit de toute ouverture et de chaque intersection de murs. Ces chaînages sont disposés de la manière suivante :

- Tous les chaînages verticaux sont continus sur toute la hauteur de l'étage, de plancher à plancher et se recouvrent d'étage à étage avec acier de couture au droit des recouvrements.
- Les chaînages horizontaux (CH) des planchers sont continus
- Les chaînages des linteaux (CL) sont constitués en acier B500B et ancrés d'une longueur égale à 50 diamètres.

Les chaînages minimaux des zones courantes d'un mur principal sont :

- CV : quatre armatures $\Phi 10$ à haute adhérence (HA) avec des armatures transversales constituées de cadre en $\Phi 6$ espacés d'au plus de 10 cm.
- CL : deux armatures $\Phi 10$ HA.

Au niveau le plus bas du bâtiment et sur une hauteur d'étage, on dispose les chaînages minimum verticaux CV au bord de chaque trumeau : quatre armatures HA $\Phi 12$ ligaturées avec des armatures transversales en $\Phi 6$ espacées de 10 cm au plus. Des chaînages verticaux identiques doivent être disposés pour tout niveau avec changement de section et ou de contreventement appréciable.

Des aciers de type B450B ou B450C peuvent être utilisés à condition de mettre en œuvre des sections résistantes équivalentes aux dispositions données ci-dessus pour les aciers B500B.

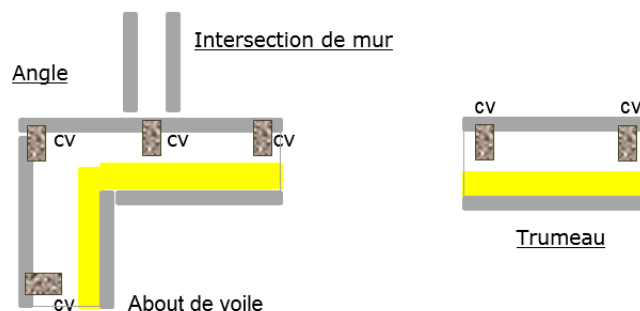


Figure 20 - Implantation des chaînages verticaux

4.1108 Exigences relatives au façonnage des armatures

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale et dans la norme NF EN 1998-1-1 et son annexe nationale.

4.2 Prescription particulière aux murs MCII essentiellement sollicités dans leur plan

4.21 Prescriptions particulières aux murs courants

Les joints en pied sont généralement de type « articulés »

Les sollicitations doivent être équilibrées au droit des joints selon la norme NF EN 1992-1 et son annexe nationale ; en considérant :

- la résistance caractéristique du béton de remplissage,
- les armatures ancrées au-delà du joint,
- la section utile résistante aux efforts, qui est celle du béton de remplissage.

Les éléments de « Mur 2000+ COMFORT » peuvent être mis en œuvre dans un ouvrage avec une inclinaison minimale de 75° par rapport à l'horizontale.

Les dispositions de mise en œuvre restent identiques aux murs verticaux.

Des précautions particulières de blocage en pied de murs seront prises en phase provisoire de montage et de remplissage pour s'opposer au déplacement horizontal (cales, équerres, ...).

Sauf justification particulière, la paroi intérieure et le noyau seront frettés par un HA6 e=30 minimum.

Dans le cas où le joint présente une largeur minimale de 3 cm au dans le cas où le joint est réalisé sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur caractéristique en compression du noyau coulé en place $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale du mur $b_1 + b_n$

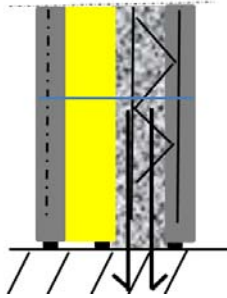


Figure 21 : Liaison en pied des murs courants

4.22 Prescriptions particulières aux poteaux

La distinction entre « mur » et « poteau » se fera sur la base du critère usuel suivant :

- est considéré comme « mur » tout élément dont la longueur est supérieure ou égale à 5 fois son épaisseur,
- est considéré comme « poteau » tout élément dont la longueur est inférieure à 5 fois son épaisseur.

L'ensemble des prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale pour le dimensionnement des poteaux doivent être vérifiées et complétées par les justifications suivantes.

Dans le cas où le poteau est soumis à des efforts horizontaux, le monolithisme de la section doit être vérifié, conformément au paragraphe §4.3.

Type de ferrailage fonction du type de sollicitations :

Poteaux résistants par le béton seul :

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690 V2) §1.1.2.2.

L'effort normal en tête de poteau est limité par :

$$N_{ulim} = \alpha \times \min \left(\frac{B_r \times f_{c,eq28}}{0,9 \times \gamma_b}; \frac{B_j \times f_{c,eq28}}{0,9 \times \gamma_b} \right)$$

avec :

- B_r la section réduite du poteau (1 cm déduit en périphérie)
- B_j la section résistante B du poteau au niveau du joint, réduite de 1cm en périphérie.
- B la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
 - le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm, ou
 - la partie structurale est posée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{c,n}$ prise en compte dans les calculs.

Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau.

$$\alpha = \begin{cases} \frac{0,85}{1+0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \text{ pour } \lambda \leq 50 \\ 0,6 \times \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \text{ pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \end{cases}$$

Avec : $\lambda = \frac{h}{l}$ (élancement du poteau de hauteur h et de longueur l)

- $\gamma_b = 1,5$

Le ferrailage de ces poteaux en « MUR 2000+ COMFORT » est réalisé de la même manière que pour un « MUR 2000+ COMFORT » classique : aciers horizontaux, verticaux et raidisseurs. Les abouts des « MUR 2000+ COMFORT » seront systématiquement fermés par des U.

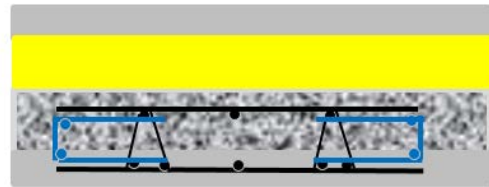


Figure 22 : Section de poteau résistant par le béton seul

Poteaux nécessitant des armatures structurales :

Les poteaux n'entrant pas dans les limites ci-dessus pourront être réalisés en « MUR 2000+ COMFORT », mais les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme sur la Figure 23.

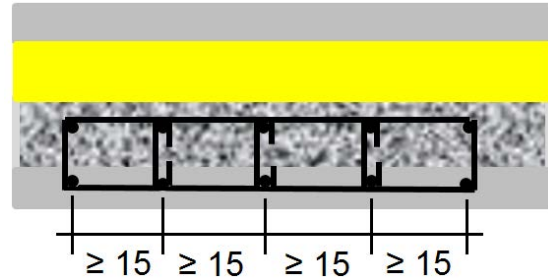


Figure 23 : Section de poteau nécessitant des armatures structurales

L'effort normal en tête de poteau est limité par :

$$N_{ulim} = \alpha \times \min \left(\frac{B_r \times f_{c,eq28}}{0,9 \times \gamma_b} + \frac{A_s \times f_e}{\gamma_s}; \frac{B_j \times f_{c,eq28}}{0,9 \times \gamma_b} + \frac{A_s \times f_e}{\gamma_s} \right)$$

avec :

- B_r la section réduite du poteau (1 cm déduit en périphérie).
- B_j la section résistante B du poteau au niveau du joint, réduite de 1 cm en périphérie.
- B la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
 - le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm, ou
 - la partie structurale est posée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{c,n}$ prise en compte dans les calculs.

Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau.

$$\alpha = \begin{cases} \frac{0,85}{1+0,2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} \text{ pour } \lambda \leq 50 \\ 0,6 \times \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 \text{ pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \end{cases}$$

Avec : $\lambda = \frac{h}{l}$ (élancement du poteau de hauteur h et de longueur l)

- $\gamma_b = 1,5$

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au paragraphe 4.194.

4.23 Prescriptions particulière aux poutres

L'ensemble des prescriptions du NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale pour le dimensionnement des poutres doivent être vérifiées et complétées par les justifications suivantes. La section de béton prise en compte dans le calcul est l'épaisseur totale de la poutre.

L'ensemble des armatures de la poutre en travée sont intégrée en usine.

Il convient de vérifier que :

- Que les armatures de coupures qui assurent la transmission des contraintes de cisaillement à l'interface parois/noyau sont suffisantes pour garantir le monolithisme de l'ensemble de la section.
- Les bielles d'about et ancrage pour les cas où les poutres ne sont pas appuyées sur les meneaux.

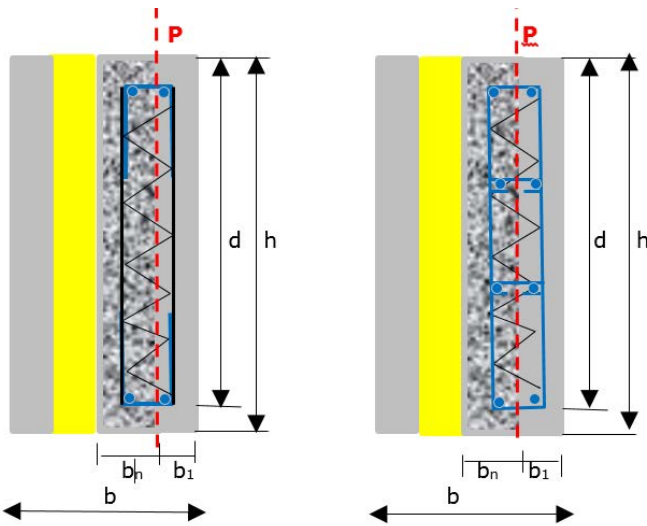


Figure 24 : Plan de cisaillement dans la section d'une poutre

4.231 Intégrité de la section :

Cette vérification consiste à s'assurer du monolithisme de l'ensemble de la section par la détermination des contraintes de cisaillement qui s'exercent à l'interface des parois préfabriquées et du béton coulé en place, et par la mise en place d'aciers de couture.

La relation suivante devra ainsi être vérifiée : $\tau_{Ed} \leq \tau_{Rd}$

Le calcul de l'effort tranchant traversant le plan de reprise se fait suivant les dispositions de l'Art. 2.6.5 de l'Eurocode 2 soit :

Effort F traversant le plan de cisaillement P (en kN/ml) :

$$F = \max\left(\frac{V_{Ed} \times b_1}{z \times (b_n + b_1)}; \frac{V_{Ed} \times A_{s1}}{z \times A_s}\right)$$

avec :

- V_{Ed} = effort tranchant maximal à l'ELU en kN
- $A_s = A_{s1} + A_{s2}$ en cm^2
- A_{s1} : Section d'acier tendu de la poutre contenue dans la peau structurelle
- A_{s2} : Section d'acier tendu de la poutre contenue dans le noyau coulé en place
- $z = 0,9 \times d$ en m

On en déduit la contrainte de cisaillement maximum qui s'exerce sur les plans de couture (en MPa) :

$$\tau_{Ed} = \frac{F}{0,6 \times h} \times 10^{-3}$$

Avec h (en m) la hauteur totale de la poutre.

Nota : L'expression de F ci-dessus est valable en partie courante. Le coefficient 0,6 a été choisi pour estimer la part de cisaillement d'interface à reprendre.

La liaison par le béton seul est systématiquement renforcée par les raidsseurs traversant le plan de reprise. Par conséquent, la valeur limite de la contrainte de cisaillement τ_{Rd} est telle que représentée ci-dessous ainsi qu'à l'Annexe III. Exemple de calcul de τ_{Rd}

$$\tau_{Rd} = \min(v_{Rdi}; 0,5 \times v \times f_{cd,n})$$

$$v_{Rdi} = c \times f_{ctd,n} + \rho_\alpha \times f_t (\mu \times \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \times f_t (\mu \times \sin \alpha' + \cos \alpha')$$

avec :

- $f_{cd,n}$: valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage ($\alpha_{cc} \times \frac{f_{cn}}{\gamma_c}$)
- $f_{ctd,n}$: valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage ($\alpha_{ct} \times \frac{f_{t,n}}{\gamma_c}$)
- $f_t = \min\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \frac{F_W}{(A_{Di} \times \gamma_s)}\right)$
- f_{yk} : limite caractéristique d'élasticité des aciers
- F_W : résistance des soudures
- A_{Di} : section d'une diagonale du raidsseur treillis

- $v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{cn}}{250}\right)$
- c tel que :
 - cas des charges à caractère principalement statiques : $c = 0,18$
 - cas des charges dynamiques ou de fatigue : $c = 0,09$
- $\mu = 0,6$

Nota 1 :

- Les valeurs de c et μ dépendent de la rugosité de la surface de reprise et sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1.

α et α' : inclinaisons des diagonales des raidsseurs dans le plan longitudinal.

ρ_α et $\rho_{\alpha'}$: pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' , calculés comme présenté à l'Annexe II. Exemple de calcul de ρ_α .

Nota 2 :

- Dans l'expression de la contrainte de cisaillement ci-dessus, l'influence du retrait du béton coulé en place est négligée.

Le plan de reprise peut être renforcé en resserrant les raidsseurs ou en disposant des raidsseurs de renforts pour augmenter la valeur de ρ (cf. Annexe III. Exemple de calcul de τ_{Rd}).

Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que $\tau_{Rd} > 0,35 \cdot f_{ck,eq}^{0,5} / \gamma_c$, alors il est nécessaire de disposer des armatures transversales d'effort tranchant.

4.232 Vérification sur appui

Au niveau des appuis (sur la première bielle), la largeur b_{app} est calculée selon le type d'appui :

- cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau du Duomur Isolant (Figure 15)
- cas 2 : $b_{app} = b_n + b_1 - ch_1$ correspond à l'épaisseur structurelle totale réduite d'une épaisseur de peau et d'une largeur de chanfrein éventuel (Figure 15)

avec :

- b_n : épaisseur du noyau coulé en place
- b_1 : épaisseur de la peau coffrante structurelle
- ch_1 : largeur des chanfreins de la première peau coffrante

La valeur de b_{app} permet ensuite le calcul du ferrailage de cisaillement sur appui et la vérification de la bielle d'about.

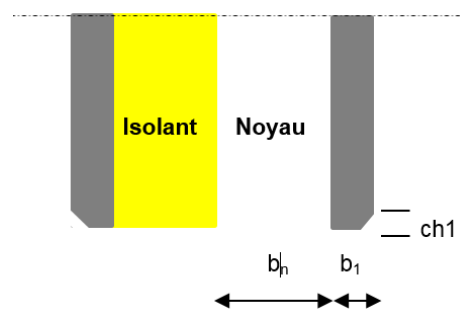


Figure 25 : Définition de géométrie de la section

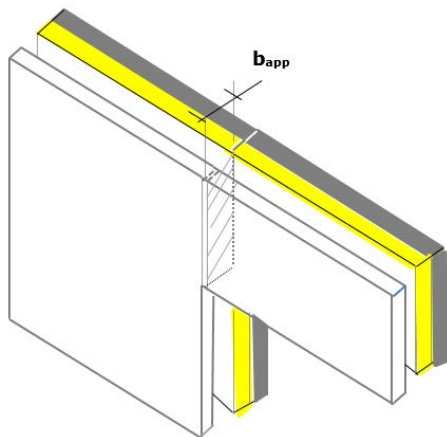


Figure 26 : Appui de poutre – cas 1

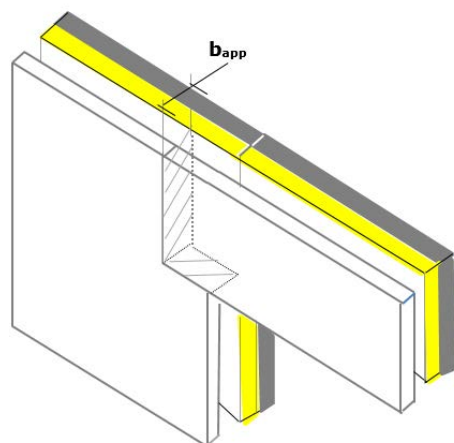


Figure 27 : Appui de poutre – cas 2

La réalisation du joint d'appui doit être conforme aux prescriptions communes (cf. paragraphe 4.1)

4.233 Résistance à la torsion

Nota : comme pour les poutres élancées, on doit éviter de faire travailler les « MUR 2000+ COMFORT » en torsion, notamment en raison des déformations qu'il en résulte. Toutefois, lorsqu'on ne peut pas éviter de le faire, les prescriptions suivantes sont utilisées.

Les sollicitations en torsion doivent être prises en compte dans le dimensionnement des poutres en considérant une largeur de poutre égale à :

- soit l'épaisseur du noyau (b_n) dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus
- soit l'épaisseur structurelle réduite des largeurs de chanfrein éventuel ($b_1 + b_n - ch_1$) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus,

Si la largeur du chanfrein ch_1 est inférieure au $1/10^{\circ}$ de la petite dimension de la section prise en compte dans le calcul de la torsion, alors la présence de ce chanfrein est négligée.

4.24 Prescriptions particulière aux poutres voiles :

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690 V2) §1.1.2.4.

L'Annexe V présente les différents cas types qui peuvent être rencontrés.

4.241 Vérification de la stabilité d'ensemble

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690 V2) §1.1.2.4.

4.242 Vérification des joints entre des « MUR 2000+ COMFORT »

Les dispositions constructives au droit des joints doivent conventionnellement permettre d'équilibrer les efforts tranchants le long de la poutre-voile en respectant la prescription suivante :

$$V_{Edi} \leq V_{Rdi}$$

avec :

- V_{Edi} , l'effort tranchant sollicitant maximal le long de la poutre-voile à l'ELU,
- V_{Rdi} , l'effort tranchant résistant au droit du joint déterminé conformément à l'Annexe I. Principe de vérification des liaisons entre « MUR 2000+ COMFORT » .

Cette vérification, décrite à l'Annexe III, a pour objet de déterminer le type de liaison permettant de reproduire le monolithisme du voile mais ne dispense pas des vérifications au cisaillement qui s'appliqueraient à la poutre-voile banchée traditionnelle.

A défaut de justifications de la résistance de la liaison, chaque « MUR 2000+ COMFORT » doit correspondre à une travée de poutre-voile.

4.25 Prescriptions particulières aux acrotères

Les acrotères en « MUR 2000+ COMFORT » sont conformes aux prescriptions de l'article 7.2.4 du DTU 20.12.

4.251 Acrotères bas

Les acrotères bas réalisés en « MUR 2000+ COMFORT » sont incorporés aux « MUR 2000+ COMFORT » du dernier niveau et sont réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.

Suivant que l'étanchéité est protégée par une engravure, par une couverture, ou par une bande de solin métallique, la face intérieure de l'acrotère est réalisée en « MUR 2000+ COMFORT » ou est coffrée en place.

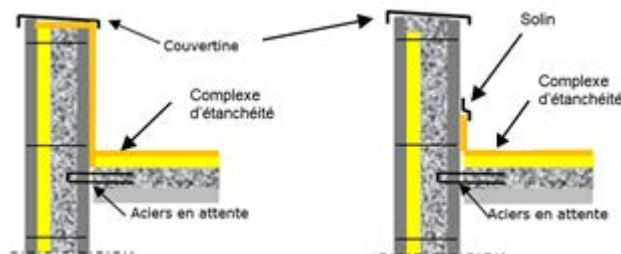
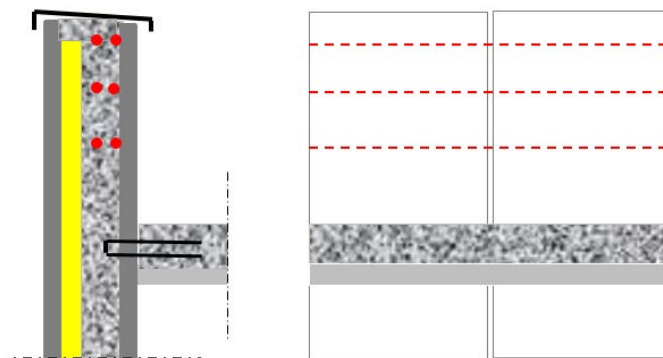


Figure 28 - Protection de l'étanchéité

Le ferrailage de l'acrotère est intégré partiellement ou totalement dans le « MUR 2000+ COMFORT ». Le ferrailage longitudinal des acrotères est éclissé au droit de chaque joint vertical par la mise en place d'armatures de section équivalente dans le noyau.

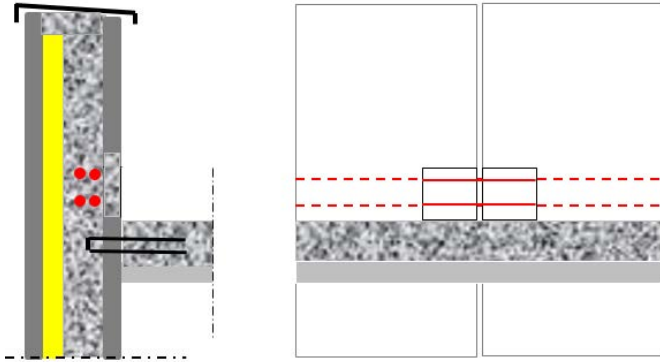


Eclisses mises en place dans le noyau

Figure 29 - Eclissage au niveau des joints d'acrotères bas

4.252 Acrotères hauts (au sens du DTU 20.12)

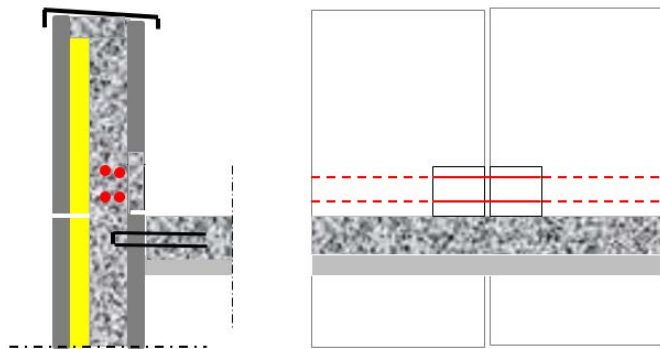
Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux « MUR 2000+ COMFORT » du dernier niveau et être réalisés par le prolongement de ces derniers au-dessus de la toiture.



Partie haute fractionnée, partie basse continue

Figure 30 - Acrotères hauts continus au niveau de la toiture

Ils peuvent également être réalisés par des pièces complémentaires rapportées au-dessus de la toiture.



Partie haute fractionnée, partie basse continue

Figure 31 - Acrotères hauts réalisés par des pièces complémentaires au-dessus de la toiture

Les acrotères hauts sont constitués :

- d'une partie basse ferrillée en continue à l'identique des acrotères bas
- d'une partie supérieure fractionnée, exempte d'armatures de liaisons et dont les joints restent vides sur toute l'épaisseur des murs.

Cette dernière disposition sera obtenue par l'insertion dans le joint, au moment du remplissage des murs, d'une planche de polystyrène traversant toute l'épaisseur du mur et disposée sur la hauteur du fractionnement.

Les joints de fractionnement seront espacés d'au plus 8 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température, 12 mètres dans les régions humides ou tempérées (par référence au DTU 20-12). Ils pourront être confondus avec les joints de « MUR 2000+ COMFORT » et auront une largeur de 2 cm.

S'ils sont espacés de 4 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température et 6 mètres dans les régions humides ou tempérées la largeur des joints de fractionnement peut être ramenée à 1 cm.

4.253 Faisabilité de montage des armatures

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur les « MUR 2000+ COMFORT » sont équipés au droit des joints d'une réservation disposée côté toiture, permettant le bon éclissage des armatures de la partie continue de l'acrotère.

4.3 Prescription particulière aux murs MCii essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

4.31 Prescriptions communes

4.311 Encastrement des armatures en attente

Le calcul du moment résistant doit prendre en compte la réduction du bras de levier par rapport au cas d'un voile banché, du fait de l'implantation des armatures en attente dans le noyau.

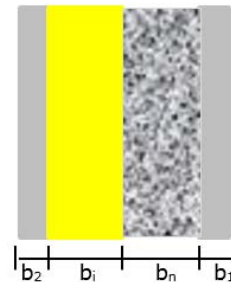
4.312 Monolithisme - Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface peau/noyau :

La présence d'un plan de reprise de bétonnage nécessite d'établir le monolithisme de la section. La contrainte tangente à l'interface peau/noyau est prise conventionnellement égale à :

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{0,9 \times l \times (b_1 + b_n)}$$

L'effort tranchant à l'ELU V_{Ed} étant évalué pour une bande de largeur $l \times (b_1 + b_n)$ étant l'épaisseur structurelle du mur. Néanmoins lorsque la section droite de la partie structurelle du mur est entièrement comprimée, et lorsque la vérification en stabilité de forme du mur est non dimensionnante, la contrainte de cisaillement τ_{Ed} à l'interface peau coffrante / béton coulé en place peut être évaluée par la formule :

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \times S_1}{l \times I}$$



S_1 étant le moment statique de la peau structurelle d'épaisseur b_1 par rapport au centre de gravité de la section, et I le moment d'inertie de la section de hauteur $(b_n + b_1)$ supposée homogène. Si on considère une largeur unitaire $l = 1$, alors v_{Ed} s'écrit :

$$\tau_{Ed} = 6 \times V_{Ed} \times \frac{b_1 \times b_n}{(b_n + b_1)^3}$$

Cette contrainte peut alors être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée à l'Annexe III. Exemple de calcul de τ_{Rd} pour la vérification de l'intégrité de la section des poutres. Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

4.313 Prescription particulières aux « Murs 2000+ COMFORT » enterrés :

La reprise de sollicitations dans les deux directions peut être envisagée à condition d'adopter des dispositions constructives adéquates.

La liaison avec les fondations est usuellement conçue comme une liaison articulée avec des armatures de reprise disposées dans la partie coulée en place; sauf cas particuliers d'encastrement dans un radier.

Les armatures de reprise au niveau des planchers sont disposées dans le béton coulé en place ou peuvent être intégrées dans le Mur 2000+ COMFORT au moyen de boîtes d'attentes.

Les liaisons au niveau des joints verticaux et/ou horizontaux non soumis à la flexion sont de type articulées.

La hauteur enterrée sera calculée en fonction de la capacité de compression de l'isolant et des actions des terres. L'ordre de grandeur de cette hauteur enterrée est un mètre.

L'utilisation de « MUR 2000+ COMFORT » enterré impose la prise en compte des règles de sécurité en vigueur relatives à ce type d'ouvrage.

5. Sécurité au feu

5.1 Généralités

La justification au feu des murs « MUR 2000+ COMFORT » a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire du CSTB n°AL 17-208. Dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, celle-ci prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation du système de liaison FIXI DOUBLE PEAU pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurelle.

5.2 Justification de la stabilité au feu de la paroi structurelle

Suivant l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 17-208, dans la limite d'une durée de tenue de feu de 2H, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurelle des « MUR 2000+ COMFORT », partie structurelle considérées comme homogène de ce point de vue.

La stabilité au feu du mur est vérifiée suivant la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale

Les coefficients réducteurs du béton et de l'acier du voile intérieur sont calculés en utilisant les tableaux de températures donnés en Annexe XVI pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures et pour des épaisseurs de paroi structurelle de 14 cm et 16 cm. Pour des épaisseurs de paroi structurelle supérieures à 16 cm, le calcul de la distribution de la température à l'intérieur de la paroi structurelle peut être réalisé suivant la NF EN 1992-1-2 et son annexe nationale (pour une durée maximale de 2 h).

5.3 Justification de la tenue de la peau extérieure

La tenue du voile librement dilatable en situation d'incendie fait également l'objet de l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 17-208 afin de s'assurer que la capacité résiduelle du système de liaison FIXI DOUBLE PEAU en situation d'incendie est suffisante pour assurer le maintien de la paroi extérieure librement dilatable pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures.

La vérification de la tenue de la paroi extérieure librement dilatable suit la démarche suivante :

- Vérification de la capacité résistante résiduelle à chaud des ancrages porteuses FIXI DOUBLE PEAU (ancres, plats) pour reprendre le poids propre de la paroi extérieure. Ce calcul devra être réalisé au cas par cas en s'appuyant des coefficients de réduction de la capacité résistante des ancrages, précisés dans l'appréciation de laboratoire AL 17-208.
- Vérification de la capacité résiduelle à chaud des ancrages et connecteurs vis-à-vis de la dilatation différentielle entre les deux parois en béton et de l'effort normal au vent (en tenant compte des différentes configurations d'épaisseurs des parois et de l'isolant) ;
- Vérification de la tenue au feu de la paroi extérieure (sous son poids propre et sous l'action du vent) dans les zones où les ancrages et épingle sont rompues. Le ferrailage de la paroi extérieure devra être vérifié au cas par cas à partir des données de l'appréciation de laboratoire n° AL 17-208

5.4 Disposition constructive particulières

En partie courante, les isolants sont protégés par l'épaisseur de béton du voile intérieur. La peau extérieure bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu MO.

L'appréciation de laboratoire n°AL 17-208. En périphérie des réservations la protection de l'isolant (lorsqu'il n'est pas MO) est assurée par la mise en place de matériaux MO.

Cette protection pourra par exemple être assurée soit par une bande de laine de roche de densité supérieure ou égale à 150 kg/m³. L'épaisseur de cette protection est de 10 cm au minimum.

On peut se dispenser de cette disposition pour les bâtiments ne comportant qu'un rez-de-chaussée.

6. Conception de l'isolant

6.1 Isolation thermique

La résistance thermique du système «MUR 2000+ COMFORT» est estimée au moyen des règles R-Th. Ces dernières prennent en compte les ponts thermiques ponctuels réalisés par le système de connexion FIXINOX.

Pour le calcul de la résistance thermique des murs, FIXINOX a déterminé les valeurs des ponts thermiques ponctuels des différents ancrages (cylindre, plat et épingle) pour différentes valeurs de λ . Ces valeurs sont affichées dans l'Avis Technique du système de fixation FIXI DOUBLE PEAU en cours de validité.

6.2 Isolation acoustique

A défaut de résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement acoustique des murs extérieurs vis-à-vis des bruits de l'espace extérieur peut être déterminé sur la base de l'application de la loi de masse, en assimilant les panneaux à des panneaux homogènes de masse égale à la masse de la partie structurelle (paroi préfabriquée intérieure et noyau coulé en place).

Il est alors estimé que la constitution des murs de ce procédé peut permettre d'obtenir la valeur d'isolement minimale de la réglementation fixée à 30 dB.

7. Conditions de fabrication et contrôles

7.1 Fabrication

Elle s'effectue dans l'usine KERKSTOEL à GROBBENDONK en Belgique, sur des tables de préfabrication horizontales, métalliques, intégrées dans un procès de production type carrousel.

Les faces vues des deux parois sont coulées en fond de moule.

Le cycle de production se déroule en 3 phases dans l'ordre suivant :

- A. Bétonnage de la paroi extérieure **H**
- B. Bétonnage de la paroi intérieure **H+ 8 Heures (au minimum)**
- C. Décoffrage du mur **H+ 16 Heures (au minimum)** (Résistance minimum à la compression **12 MPa**) pour le retournement de la paroi sur table de basculement.

Phase A :

1. Après nettoyage des équipements, mise en place des différentes joues de coffrage métalliques, définissant la géométrie du voile, à l'aide d'un robot de coffrage. La fixation des joues se fait par l'intermédiaire d'aimants.
2. Mise en place de l'agent de démoulage.
3. Mise en place des encadrements de baies ou portes et accessoires si nécessaire.
4. Mise en place de l'armature du voile, calée par l'intermédiaire de cales plastiques adaptées.
5. Positionnement, mise en place et maintien des boucles de levage sur le lit de ferrailage de la première paroi, avec le complément d'armatures nécessaire au système.
6. Mise en place des ancrages FIXINOX.
7. Mise en œuvre du béton et vibrage de la table.
8. Contrôle de l'enrobage intérieur $C_{1bc,int}$ de la boucle de levage.
9. Mise en place de l'isolant.

Nota : les plaques d'isolant sont prédécoupées et percées suivant plans du bureau d'études KERKSTOEL sur un banc automatique de découpe à l'eau.

10. Mise en place des écarteurs SYSPRO.
11. Mise en place des épingle FIXINOX
12. Mise en place d'un treillis éventuel (armature complémentaire du noyau.
13. Stockage de la table dans une étuve à température et hygrométrie contrôlées, sur une période de 8 Heures.

Phase B :

14. Renouvellement des points 1 à 4 pour la paroi extérieure.
15. Mise en place des treillis raidisseurs
16. Mise en œuvre du béton et vibrage de la table.
17. Retournement de la paroi extérieure sur la paroi intérieure à l'aide d'un équipement de retournement et vibrage de la table.
18. contrôle de l'enrobage intérieur $C_{2bc,int}$ de la boucle de levage.
19. Stockage de la table dans une étuve à température et hygrométrie contrôlées. sur une période de 8 Heures

Phase C :

20. Décoffrage à l'aide de ponts roulants et table de relevage
21. Traitement éventuel de la face extérieure du mur.
22. Mise sur parc directement dans un rack de livraison.

7.2 Contrôle interne

Durant le processus de production la qualité est assurée par le personnel de production suivant la procédure qualité décrite dans le manuel qualité.

L'entreprise est certifiée ISO 9001 objet du certificat N°1251 en cours de validité, délivré par BCCA.

L'extrait du manuel qualité F97, joint en annexes, décrit le déroulement des différentes phases de contrôle.

Contrôle des résistances béton conformément au référentiel de certification CSTBat RT 02.05.

Contrôle de la conformité de la commande pour les raidisseurs, les ancrages porteuses et les connecteurs composite pour chaque livraison. (Contrôle du bordereau de livraison et du marquage ou étiquetage)

Autocontrôle des différentes étapes de production (coffrage, armatures, bétonnage, retournement).

Après déstockage, contrôle dimensionnel statistique conformément au référentiel de certification CSTBat RT02.05.

7.3 Contrôle externe

La production des « MUR 2000+ COMFORT » fait l'objet d'un marquage CE selon les référentiels EN 14992 et EN 15258 dont le suivi est effectué par l'organisme notifié PROBETON.

Les MC2I « MUR 2000+ COMFORT » font l'objet d'une certification CSTBat dont le suivi est effectué par le C.S.T.B.

7.4 Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Les MC2I « MUR 2000+ COMFORT » ont un poids propre de 350 kg/m².

Les dimensions maximales courantes sont hauteur x largeur ou largeur x hauteur : 3,50 x 10,00

Épaisseur courante des « MUR 2000+ COMFORT » 16, 18, 20, 22, 24, 25, 30, 34, 36, 38 cm.

Tolérances dimensionnelles : conforme aux prescriptions du référentiel CSTBat RT02.05.

Tolérances enrobage des armatures : +/-3mm.

	Hauteur / Largeur et Equerrage / diagonales	Epaisseur des parois et Epaisseur du mur (6 mesures)	Position Ouvertures et inserts	Rectitude des arêtes	Planéité (règle de 3 m)	Décalage des parois
Tolérances mm	< 3 m ± 5 mm 3 à 6 m ± 6 mm > 6 m ± 8 mm	Moyenne ± 3 mm Individuelle ± 6 mm	± 10 mm	± 4 mm	5 mm	± 5 mm

8. Manutention et stockage des éléments préfabriqués

Après maturation du béton, relevage de la table et manutention des éléments à l'aide de ponts roulants.

Après traitement éventuel du voile extérieur, le stockage des éléments en sortie d'usine, verticalement, est réalisé dans des racks de livraison.

9. Conditions de mise en œuvre sur chantier

9.1 Transport des panneaux

Les éléments sont transportés à l'aide de remorques classiques ou surbaissées.

Pour les conditions de transport standard, les dimensions maximum des MC2i « MUR 2000+ COMFORT » sont de 9.00 m x 3.50 m.

Une dimension supérieure à 9.00 m est possible, moyennant un mode de transport adapté.

Afin que le déchargement d'un élément ne compromette pas la stabilité du reste du chargement, les panneaux sont arrimés au support indépendamment les uns des autres.

Les liaisons individuelles sont supprimées lorsque le panneau est repris par la grue conformément à la notice de manutention jointe au bordereau de livraison..

9.2 Levage des panneaux

Les éléments de mur équipés de quatre boucles sont manutentionnés à l'aide d'un système équilibrant.

La manutention peut être réalisée en accrochant directement le crochet de l'élingue à la boucle.

9.3 Pose des panneaux

L'entreprise KERKSTOEL n'assure pas la pose des éléments. Un cahier des charges, transmis par KERKSTOEL décrit toutes les étapes du montage. Ce cahier des charges est intégré à chaque plan de calepinage pour tous les chantiers.

Préparation du chantier :

Nettoyer le support,

Utiliser le plan de pose pour :

- Tracer la position du mur sur la fondation, le radier ou la dalle
- Tracer la position des joints
- Mesurer l'altitude du support au droit de chaque joint et repérer l'épaisseur du calage
- Positionner les lests ou ancrages des étais tirant-poussant
- Ancrer les étais tirant-poussant sur les lests
- Approvisionner les armatures de liaison
- Positionner la grue de levage de façon stable.

Attention : vérifier la stabilité de la fouille et des talus, ne pas intervenir entre un mur et un talus non stabilisé.

Déchargement :

Vérifier la stabilité de tous les éléments de Mur 2000+ COMFORT (chaque Mur 2000+ COMFORT doit être solidarisé de façon individuelle au rack de transport)

Les boucles de levage se trouvent en tête du mur.

Pour accéder aux boucles, il faut utiliser une échelle plateforme à grappins, ou une nacelle élévatrice.

Le levage est réalisé avec un palonnier ou avec des élingues

Le nombre de boucles de levage est précisé sur les fiches de fabrication qui accompagnent le plan de pose.

Accrocher les élingues au Mur 2000+ COMFORT puis enlever le dispositif de maintien du mur au rack de transport.

Décharger les éléments de Mur 2000+ COMFORT.

Pendant le déchargement ne pas stationner :

- sous la charge
- sur le rack de transport
- sur la remorque.

Si nécessaire, effectuer le guidage du mur avec une corde

Phasage de la pose :

La pose des éléments de Mur 2000+ COMFORT, doit être conforme au plan général de pose fourni par le préfabricant.

1. Décharger le Mur 2000+ COMFORT.
2. Poser le Mur 2000+ COMFORT sur les cales (paroi intérieure).
3. Stabiliser le mur avec les étais tirant-poussant qui sont ancrés aux douilles M16 du Mur 2000+ COMFORT. Régler l'aplomb.
4. Relâcher la tension sur les élingues après s'être assuré que le Mur 2000+ COMFORT est stable.
5. Les armatures de liaison peuvent être insérées avant ou après la pose du Mur 2000+ COMFORT, suivant. Dans le cas de liaisons sismiques, suivre le mode opératoire spécifique.
6. Il appartient à l'entreprise de vérifier les armatures de liaison à mettre en œuvre sur le chantier à partir des plans d'exécution KERKSTOEL.
7. Cisailler les crochets de levage pour permettre la libre dilatation de la paroi extérieure
8. Coller les joints compribandes ou bande compressible isolante sur les chants horizontaux et verticaux de l'isolant ainsi que tous les accessoires indispensables à la réalisation de l'étanchéité. Le joint compribande peut être remplacé par l'injection de mousse polyuréthane après la pose.
9. Poser le Mur 2000+ COMFORT suivant avec le joint prévu sur le plan de pose. Le joint entre deux Murs 2000+ COMFORT a été dimensionné pour permettre la libre dilatation de la paroi extérieure et éviter l'entrechoquement de deux parois successives en cas de séisme
10. Poser les armatures de chaînage.

Tolérances sur la pose :

L'écart d'implantation entre deux axes de joint superposés ne doit pas dépasser 1/15 de l'épaisseur du mur le moins épais, avec un maximum de 3 cm.

L'écart d'implantation entre l'axe théorique et l'axe du joint entre deux Murs 2000+ COMFORT posés ne doit pas dépasser 2 cm.

L'écart sur la verticalité du parement d'un Mur 2000+ COMFORT sur une hauteur d'étage, ne doit pas dépasser 2 cm

Dispositions spécifiques dans les angles :

Des dispositions sont à prendre lors du bétonnage du noyau au niveau des angles de bâtiments afin de supprimer les efforts de flexion dans la paroi extérieure. En effet, si la distance « d » entre la tranche de la paroi et la position du premier écarteur devient importante (≥ 60 cm environ), le maintien de l'angle avec des équerres métalliques est alors nécessaire (voir figure 53 en annexe). Le dimensionnement et la position de ces équerres sont définis par le bureau d'étude KERKSTOEL. Ce dispositif est alors reporté sur le plan de pose des murs.

Ces équerres sont maintenues en place, en phase provisoire, avant d'engager le bétonnage du noyau et jusqu'à la prise du béton du noyau.

Fixation des équerres par vis et douilles filetées ancrées dans la paroi extérieure.

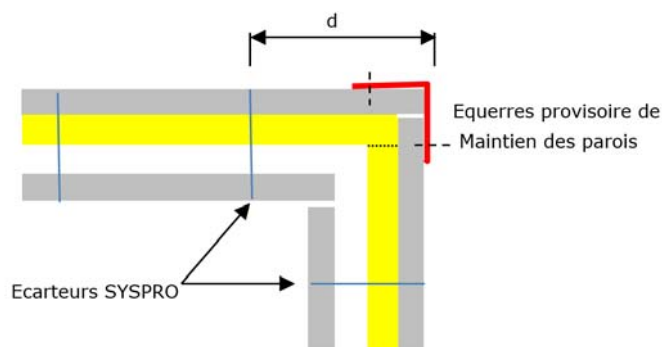


Figure 32 - Disposition des équerres en phase provisoire

10. Critères de bétonnage du noyau

10.1 Généralités

Le béton doit pouvoir être mis en place sans vibration, sous la responsabilité de l'entreprise de gros œuvre. Il est recommandé de vibrer le béton dans les zones très ferrillées (armatures horizontales de diamètre supérieur ou égal à 12mm).

Dans les zones le nécessitant (accès difficile, grande hauteur,...) des trappes de bétonnage doivent être prévues lors de la conception de l'élément préfabriqué.

Le bureau d'études KERKSTOEL vérifiera que la pression maximale du béton est inférieure à 30 kN/m². Au-delà de cette valeur, le bureau d'études calculera le nombre d'écarteurs complémentaire à mettre en place.

10.2 Hauteur de chute du béton

La hauteur maximale H_{max} de chute du béton de remplissage du noyau des éléments « MUR 2000+ COMFORT » n'excèdera pas 3,00 m quelle que soit l'épaisseur du noyau (cf. NF P 18-504).

Pour les panneaux de grande hauteur ne permettant pas de respecter la hauteur H_{max}, il conviendra alors :

- de faire plonger une manchette, ou un tube plongeur (si l'épaisseur du noyau le permet) de manière à respecter H_{max}
- de réaliser des trémies de bétonnage (réservations dans la paroi intérieure du « MUR 2000+ COMFORT ») à une hauteur de 3,00 m et espacées de 3,80 m,
- de couler à l'aide d'une pompe à béton, et d'une manchette.

10.3 Vitesse de bétonnage

La vitesse maximale de bétonnage est de 85 cm / heure dans les conditions de température prévues à l'Annexe B Informative de la norme NF EN 14992.

Une attention particulière doit être portée lors des bétonnages par temps froid ; la vitesse de bétonnage doit être diminuée de :

- 20% pour des températures de paroi inférieures à 10°C
- 30% pour des températures de paroi inférieures à 5°C

L'attention est attirée sur le fait que les dispositions particulières sur le phasage d'exécution des voiles doivent être prises en compte pour que les prescriptions de conditions de bétonnage décrites ci-dessus puissent être respectées. A titre d'exemple, une vitesse de bétonnage de 50 cm/h implique le bétonnage d'une hauteur de 3 m sur une durée de 6 heures.

10.4 Contrôle du bétonnage

Des orifices dans la paroi intérieure préfabriquée des « MUR 2000+ » (diamètre de 50mm) doivent être prévus lors de la conception pour permettre le contrôle visuel du remplissage :

- Un orifice (au minimum) en partie basse de chaque élément
- Un orifice supplémentaire dans chaque zone fortement armée

Autres contrôles possibles après bétonnage: effectuer un trou côté intérieur, l'auscultation sonique,...

Note :

- les contrôles en utilisant un maillet ne sont pas envisageables ;
- il est envisageable d'injecter un coulis de remplissage lorsqu'un défaut de remplissage est détecté.

-
-

11. Conditions d'exploitation

La commercialisation des murs MC21 « MUR 2000+ COMFORT » est assurée par le service commercial KERKSTOEL.

L'étude de stabilité de l'ouvrage et le dimensionnement des sections d'armatures sont assurés par le bureau d'études du chantier.

Le dimensionnement des ancrages et des épingles ainsi que la vérification des joints sont assurés par la société FIXINOX.

La société KERKSTOEL réalise les plans de calepinage et les plans de fabrication des éléments de mur « MUR 2000+ COMFORT ». La société KERKSTOEL reporte sur ses plans les sections d'armatures transmises par le bureau d'étude du chantier.

La fabrication des murs « MUR 2000+ COMFORT » est assurée par la société KERKSTOEL, dans son usine de GROBBENDONK en Belgique.

KERKSTOEL assure le transport sur site des murs.

Le déchargement et la pose des éléments de mur sont à la charge de l'entreprise responsable de l'exécution du chantier.

Une assistance technique peut être faite par KERKSTOEL su demande spécifique de l'entreprise de pose.

B. Résultats expérimentaux

Rapports d'essais CSTB propres à l'Avi Technique FIXINOX

Appréciation de laboratoire du CSTB (Feu)

Rapport d'essai de traction sur écarteurs SYSPRO : **UHASSELLT**

Rapport d'essai de cisaillement sur écarteurs SYSPRO : **UHASSELLT**

C. Références

C1. Données environnementales¹

Le procédé ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels les produits (ou procédés) visés sont susceptibles d'être intégrés

C2. Références chantier

Type de chantier	Ville	Entreprise	Surface (m ²)	Année
Logement individuel	B5020 VEDRIN	CUBE	450	2016
Logement individuel	B2580 BEERZEL	De CUYPER-PEETERS	450	2016
Logement individuel	B320 HOLSBECK	De CONNINCK	450	2016
Logement individuel	B7812 ATH	DEMALIERE	340	2016
Logement individuel	B1470 BOUSVAL	DEMALIERE	305	2016
Logement individuel	B1300 WAVRE	ROOSEN	190	2016
Centre sportif	B6860 LÉGLISE	BATIFER	700	2016
Local technique	LIÈGE	HUTSCHMAECKERS	200	2016
Résidence hôtelière	BRUGIERE F-30580	Eiffage	500	2016
Logements	CALAIS F-62100	Concept Litoral	800	2017

¹ Non examiné par le Groupe Spécialisé dans le cadre de cet avis

Annexe I : Présentation du procédé MUR 2000+ COMFORT

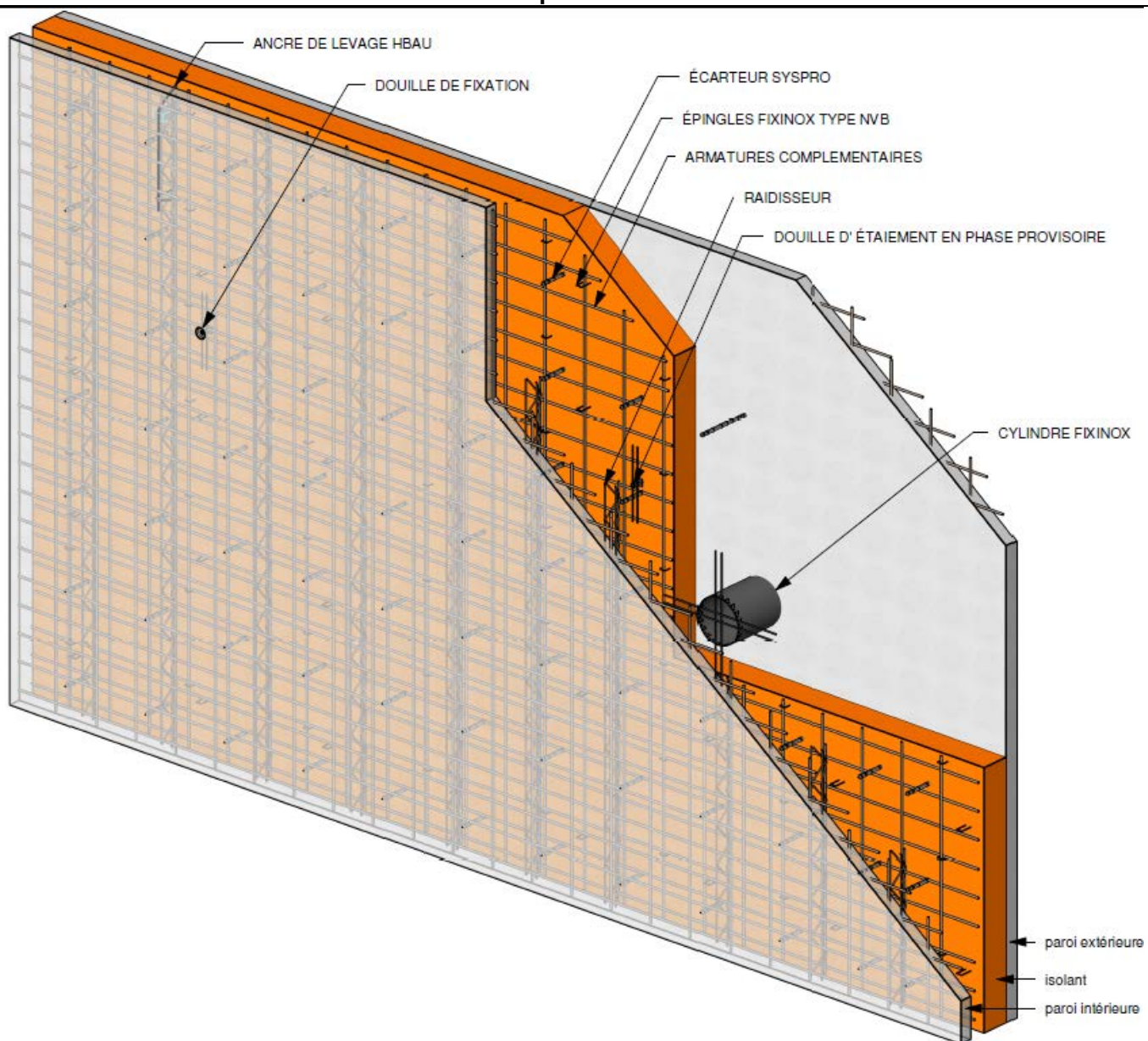


Figure 33 - Perspective "Mur 2000+ COMFORT" – Cas utilisation d'un cylindre FIXINOX

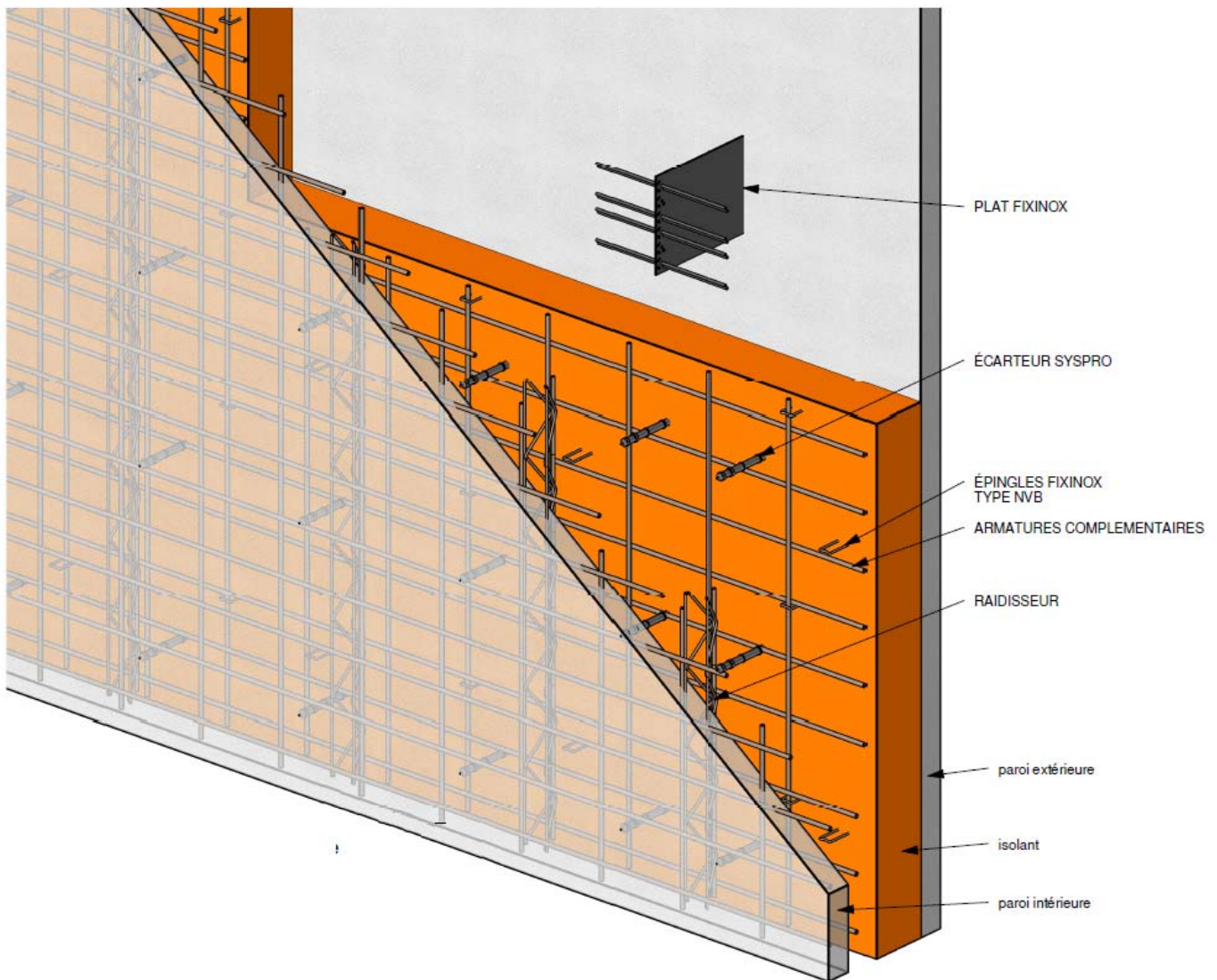
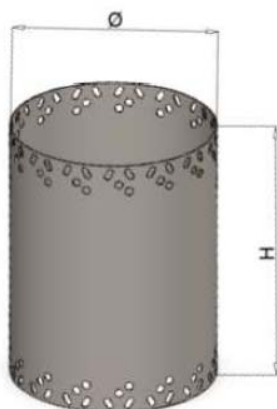


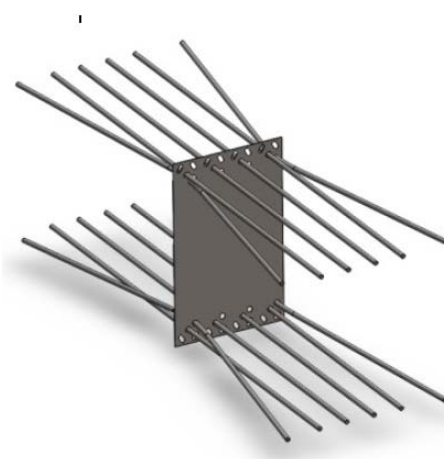
Figure 34 - Perspective "Mur 2000+ COMFORT" - Utilisation d'un plat FIXINOX

Annexe II : Système de fixation de la paroi librement dilatable utilisé dans le cadre du procédé MUR 2000+ COMFORT

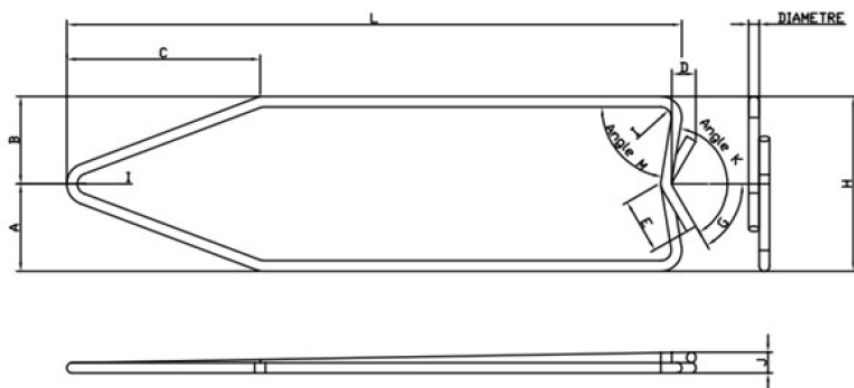
1. Cylindre MA FIXINOX



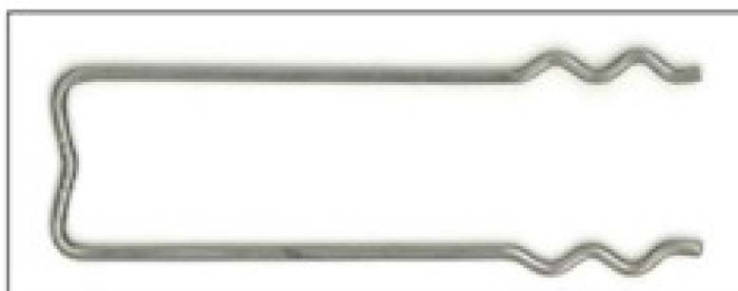
2. Plat FA FIXINOX



3. Etrier NVB FIXINOX



4. Epingle FIXINOX

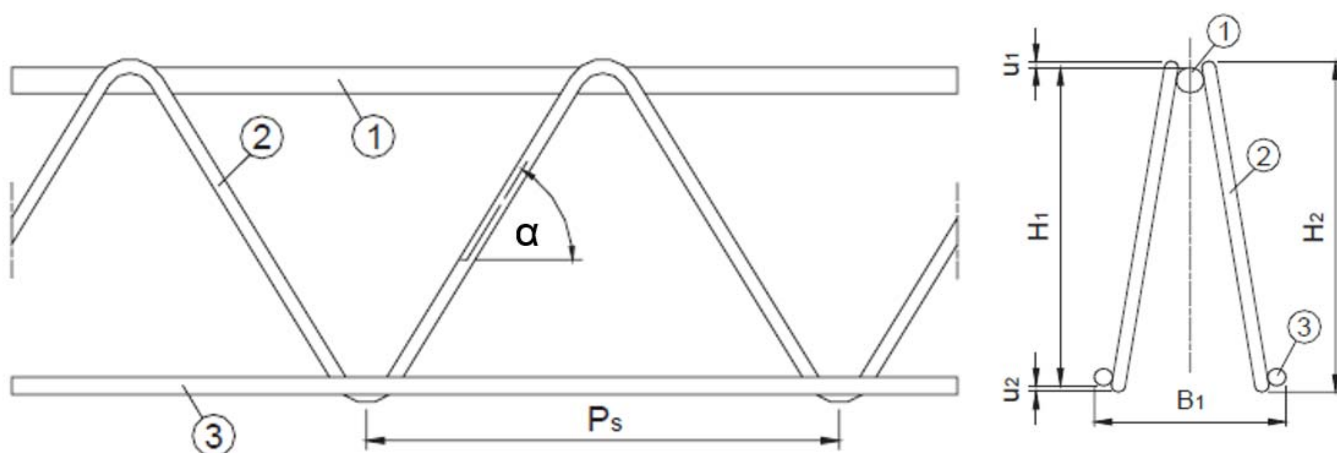


5. Ecarteur



Annexe III : Exemples de calcul de ρ_α

Exemple de calcul avec des raidisseurs de section triangulaire du type INTERSIG :



H1	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160
μ	31°	34°	38°	42°	46°	49°	52°	55°	57°	59°	60°	62°
H1	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280
μ	63°	65°	66°	68°	69°	69°	70°	70°	71°	72°	72°	73°
H1	290	300	310	320	330	340	350	360	370	380	390	400
μ	73°	74°	74°	74°	75°	75°	76°	76°	76°	77°	77°	78°

$$P_\alpha = \frac{2 \times A_d \times \sin\beta}{s_t \times e}$$

Avec :

A_d : section d'une diagonale (m²). Ø 5 mm - $A_d = 1,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2$

β : Inclinaison des diagonales dans le plan transversal - 80° pour la hauteur maximum $\sin\beta = 0,98$

s_t : pas des sinusoides (m) = 200 mm

e : espacement des raidisseurs – e/a maximum 600 mm

$$\rho_\alpha = 0,0310 \times 10^{-2} = 0,0310 \%$$

Annexe IV : Exemple de calcul de τ_{ulim}

Le cisaillement admissible τ_{ulim} à l'interface béton préfabriqué / béton du noyau coulé in situ est donné par l'expression :

$$\tau_{ulim} = \min[v_{Rdi}; 0,5 \times v \times f_{cd,n}]$$

Avec

$$v_{Rdi} = c \times f_{ctd,n} + \rho_{\alpha} \times f_t (\mu \times \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \times f_t (\mu \times \sin \alpha' + \cos \alpha')$$

c tel que

- $c = 0,20$ dans le cas de charges principalement statiques
- $c = 0,10$ dans le cas de charges dynamiques

$$\mu = 0,6$$

α et α' : Inclinaison des diagonales dans le plan transversal

ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$: % d'armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α'

f_{ctd} : résistance à la traction du béton de remplissage (valeur de calcul)

$$f_t = \min \left[\frac{f_{yk}}{\gamma_s}; \frac{R}{(A_d \times \gamma_s)} \right]$$

$$\gamma_s = 1,15$$

f_{yk} = limite caractéristique élastique de l'acier

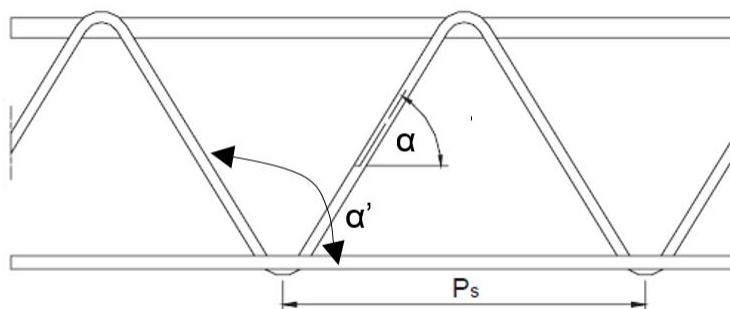
R : résistance des soudures

A_d = section d'une diagonale du raidisseur

f_{cd} : résistance en compression du béton de remplissage (valeur de calcul)

$$v = 0,6 \times (1 - f_n/250)$$

Exemple :



Pour le cas étudié à l'annexe II, $\alpha = 78^\circ$, $\alpha' = 102^\circ$ et $\beta = 80^\circ$ avec la valeur $\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = 0,310\%$

Pour l'acier des raidisseurs nous avons $f_{yk} = 500$ MPa et $R = 9800$ daN et $\varnothing = 5$ mm

Pour le béton nous prendrons comme hypothèse un béton de remplissage du noyau tel que $f_{cn} = 25$ MPa

Alors $f_{cd,n} = 16,7$ MPa et $f_{ctd,n} = 1,2$ MPa

$$\text{On a } f_t = \min[434,8; 434,2] = 434,2$$

Alors :

$$v_{Rdi} = 0,20 \times 1,2 + 0,0310 \times 10^{-2} \times 434,2 \times (0,6 \times 0,978 + 0,208) + 0,0310 \times 10^{-2} \times 434,2 \times (0,6 \times 0,978 + 0,208)$$

$$v_{Rdi} = \mathbf{0,454 \text{ MPa}}$$

$$\tau_{ulim} = \min[v_{Rdi}; 0,5 \times v \times f_{cd,n}]$$

$$= \min \left[0,454; 0,5 \times 0,6 \times \left(1 - \frac{25}{250} \right) \times 16,7 \right] = \min[0,454; 4,5] = 0,454$$

$$\tau_{ulim} = \mathbf{0,454 \text{ MPa}}$$

Annexe V : Exemple de calcul des efforts résistant des joints entre murs COMFORT 2000+

Les liaisons entre « MURS COMFORT 2000+ » doivent vérifier l'inégalité suivante : $V_{Rdi} \geq V_{Edi}$ ceci afin que le monolithisme de la section soit assuré.

V_{Rdi} = Effort tranchant résistant au droit du joint

V_{Edi} = Effort tranchant sollicitant maximal à l'ELU

La section des armatures de liaison doit être au moins égale à la section minimale prescrite pour les éléments continus équivalents (mur banché) et leur longueurs doivent permettre un recouvrement suffisant avec les armatures intégrées dans les parois préfabriquées.

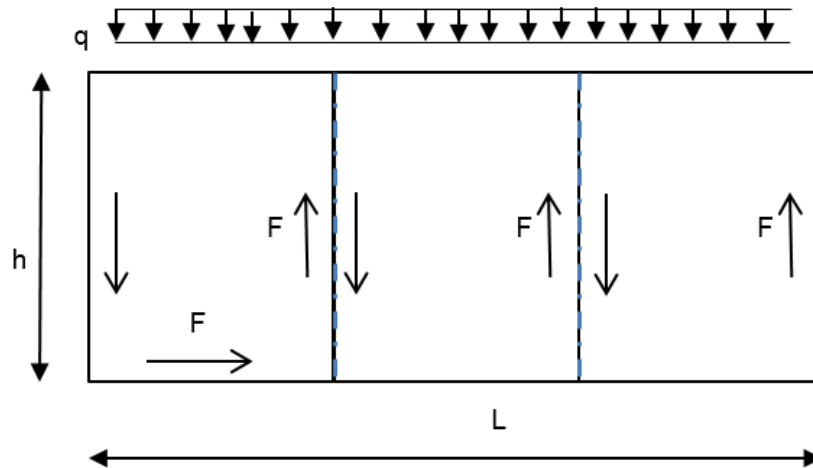


Figure 35 - Effort sollicitant

$$V = q \cdot L/2$$

$$F = V / \min [h ; L]$$

$$V_{Edi} = F = V / \min [h ; L] \text{ avec } V = V_{max} = q \cdot L/2$$

Exemple de joints :

1- Liaison sans couture aux abouts (Hors poutre voile)

Figure 36 - Liaison sans couture aux abouts

$$V_{Rdi} = (c \cdot 2x \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} + \mu \cdot \sigma_n \cdot 2x) \cdot l$$

Pour le béton nous prendrons comme hypothèse un béton de remplissage du noyau tel que $f_{c,n} = 25$ MPa

Alors $f_{t,n} = 0,7 \times 0,3 \times \frac{2}{3} f_{c,n} = 1,795$ MPa

Avec un recouvrement x de 30 cm par exemple

$\gamma_c = 1,5$ en situation normale et 1,3 en situation sismique

$\mu = 0,6$

c = 0,2 en situation fondamentale et 0,1 en situation sismique

$\sigma_n = 0$

Alors V_{Rdi} à l'ELU fondamentale est égal à 143,6 KN/ml et en situation sismique, V_{Rdi} est égal à 82.8 KN/ml

2- Liaison avec couture aux abuts

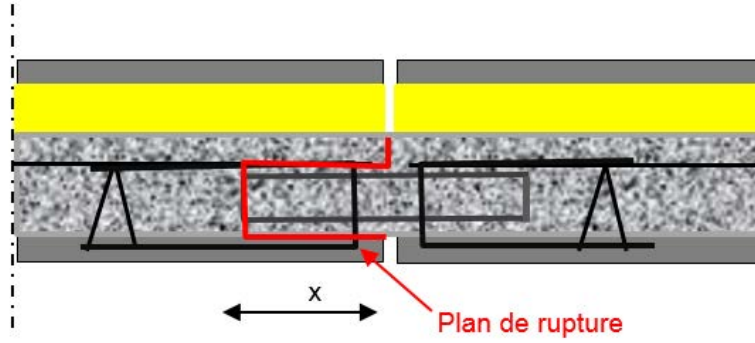


Figure 37 - Liaison avec couture aux abuts

$$V_{Rdi} = \left[c \cdot 2x \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} + \mu \cdot (\sigma_n + \rho f_{yk} / \gamma_s) \cdot 2x \right] \cdot l$$

Pour $f_{c,n} = 25$ MPa alors $f_{t,n} = 0,7 \times 0,3 \times \frac{2}{3} f_{c,n} = 1,795$ MPa

Avec $x = 30$ cm

$\gamma_c = 1,5$ en situation normale et $1,3$ en situation sismique

$\mu = 0,6$

$c = 0,2$ en situation fondamentale et $0,1$ en situation sismique

$\sigma_n = 0$

$\rho = 0,1\%$ pour des aciers $\varnothing 8$ et un espacement de 20 cm

Alors V_{Rdi} à l'ELU fondamentale est égal à 300 KN/ml et en situation sismique, V_{Rdi} est égal à 263 KN/ml

3- Liaison sans couture aux abuts, avec noyau non armé côté isolant (Hors poutre voile)

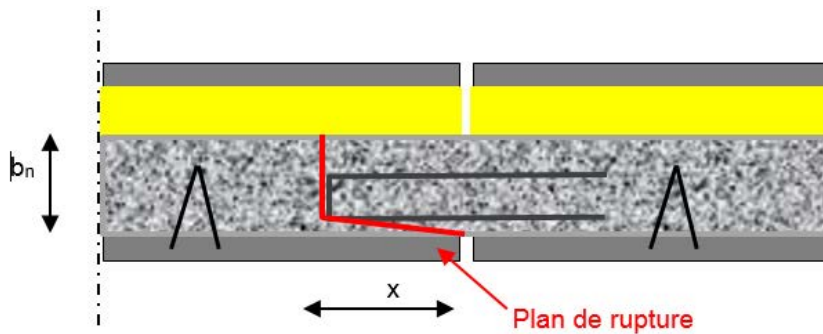


Figure 38 - Liaison sans couture aux abuts, avec noyau non armé côté isolant (hors poutre voile)

$$V_{Rdi} = \left[c \cdot (x + b_n) \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} + \mu \cdot \sigma_n \cdot b_n \right] \cdot l$$

Pour $f_{c,n} = 25$ MPa alors $f_{t,n} = 0,7 \times 0,3 \times \frac{2}{3} f_{c,n} = 1,795$ MPa

Avec $x = 30$ cm

$\gamma_c = 1,5$ en situation normale et $1,3$ en situation sismique

$\mu = 0,6$

$c = 0,2$ en situation fondamentale et $0,1$ en situation sismique

$\sigma_n = 0$

Avec un noyau d'épaisseur 8 cm

Alors V_{Rdi} à l'ELU fondamentale est égal à 91 KN/ml et en situation sismique, V_{Rdi} est égal à 52 KN/ml

Annexe VI : Schéma de principe de réalisation des liaisons entre poutres - voiles en « MUR 2000+ COMFORT »

Note : il est rappelé que toutes les liaisons avec des poutres voiles doivent être couturées, qu'elles soient verticales ou horizontales, notamment au niveau des planchers.

Cas 1 - Poutre voile réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le « MUR COMFORT 2000+ »

- Cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières étant donné l'absence de joints hormis la vérification du déversement si nécessaire.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation

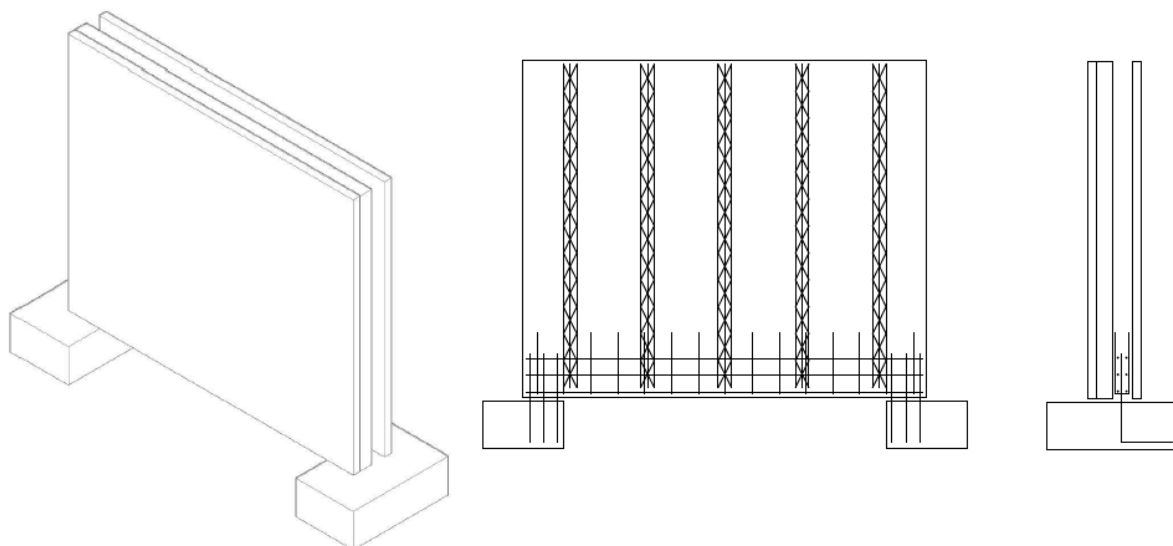


Figure 39 - Poutre voile d'un seul tenant

Cas 2- Poutre voile réalisée en plusieurs « MUR 2000+ COMFORT » superposés.

- Cette solution nécessite la vérification du joint à l'effort tranchant
- Le type de liaison est choisi parmi les liaisons couturées en fonction de l'effort à reprendre
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation
- Observation : ce type de configuration nécessite la présence de raidisseurs aux extrémités de la poutre voile.

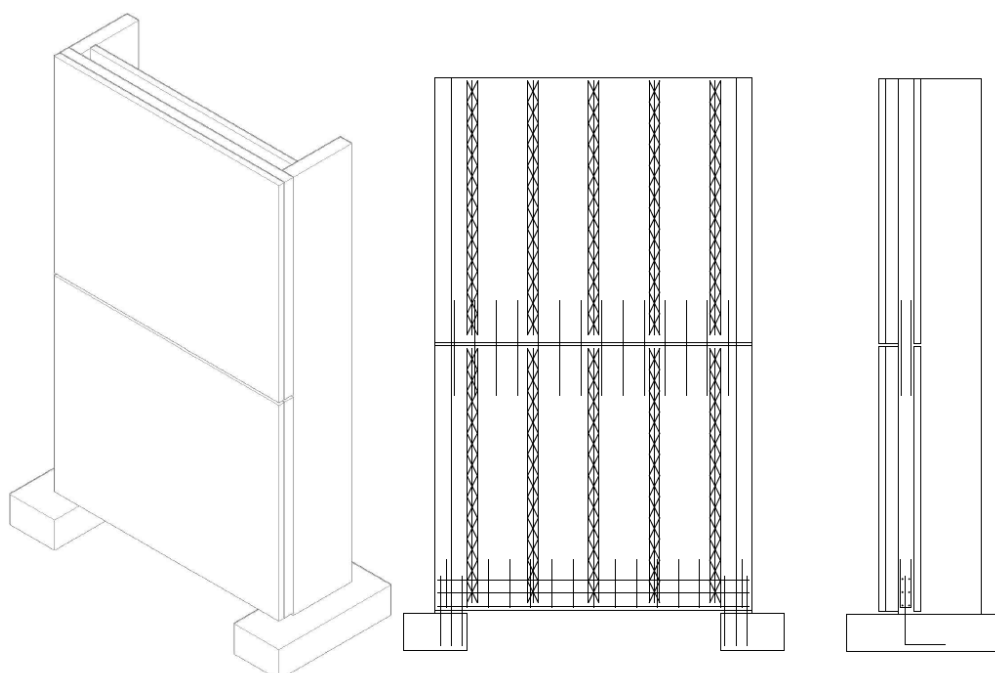


Figure 40 – Poutre voile réalisé en plusieurs « MUR 2000+ COMFORT » superposés

Cas 3- Poutre voile en plusieurs parties (hors zone nécessitant des dispositions sismiques)

- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée, la zone supérieure est constituée de « MUR 2000+ COMFORT ».
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis parmi les liaisons couturées en fonction de l'effort à reprendre.

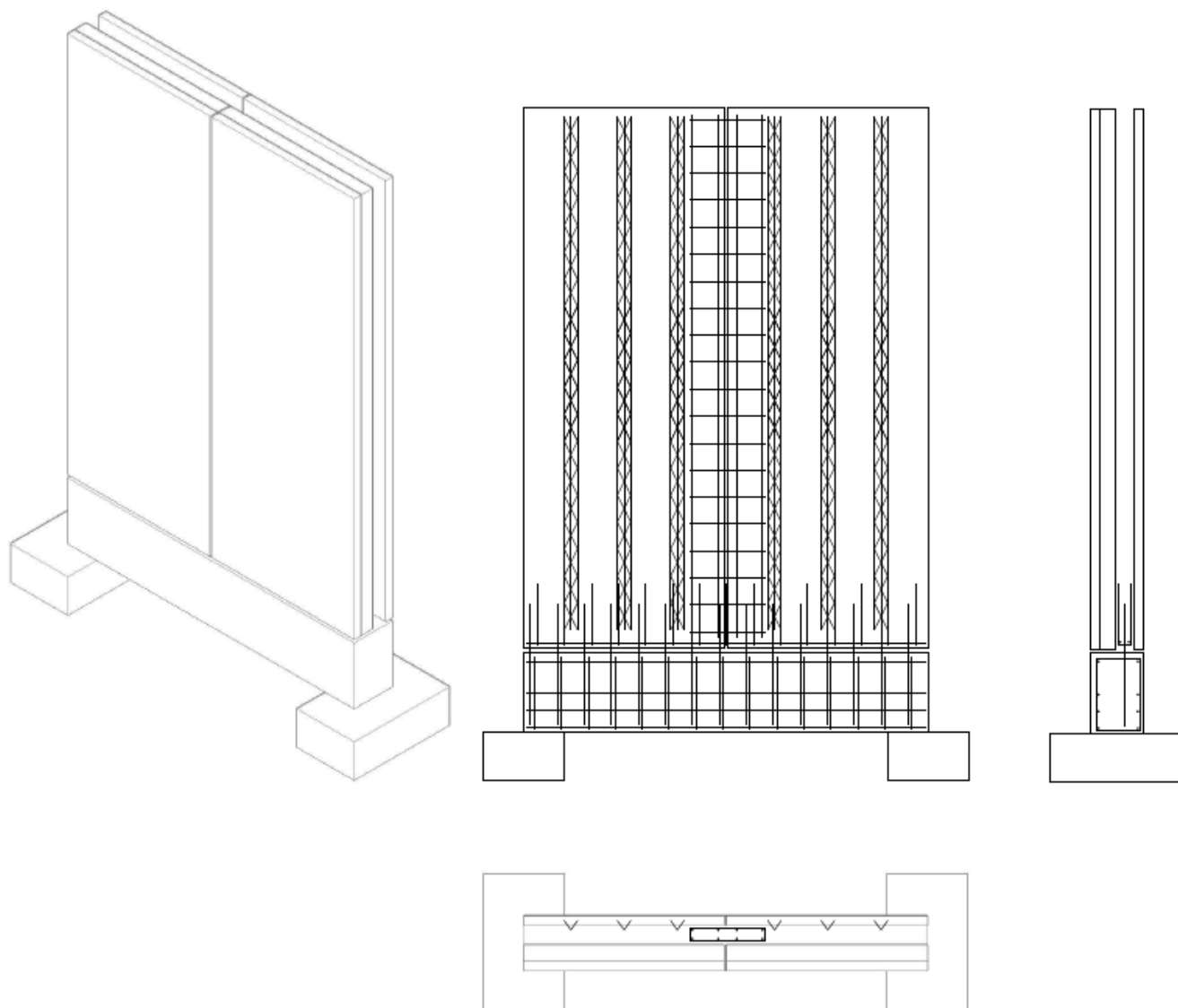


Figure 41 – Poutre voile en plusieurs parties (hors zone nécessitant des dispositions sismiques)

Annexe VII : Traitement des joints

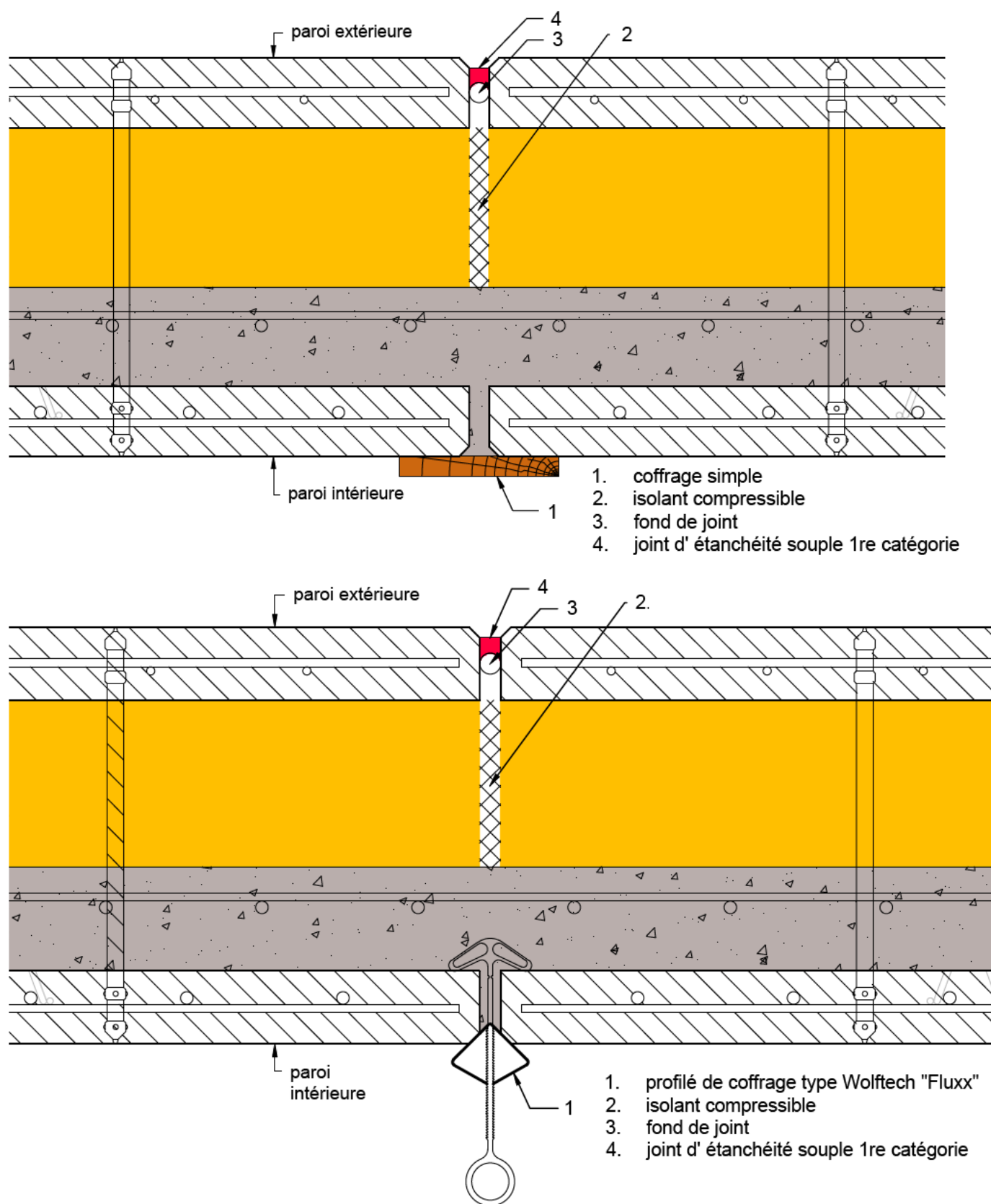
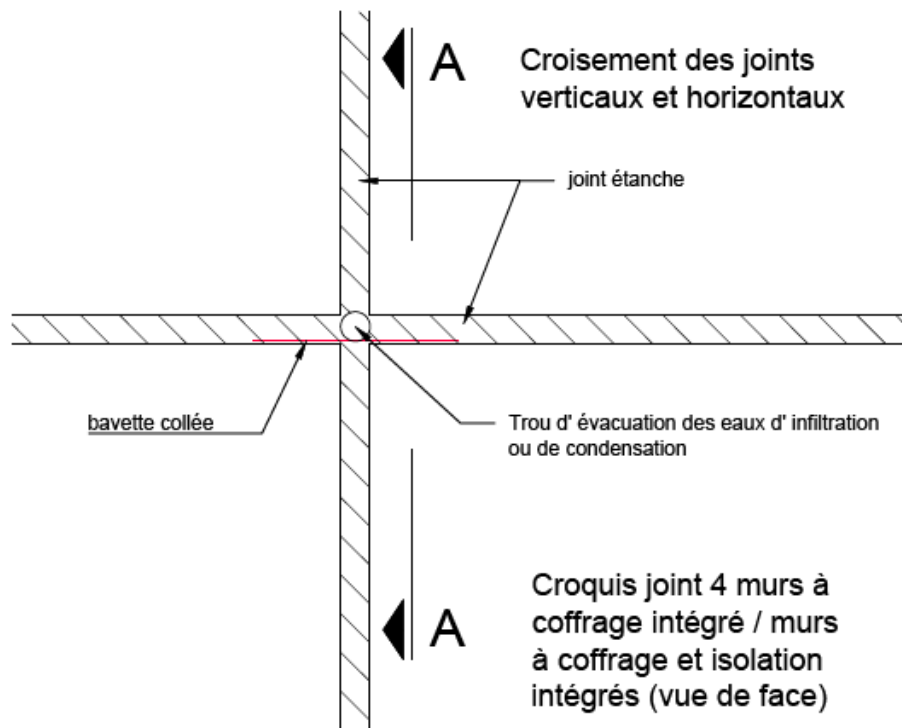


Figure 42 - Principe de réalisation des joints entre parois



Croquis joint 4 murs à coffrage intégré / murs à coffrage et isolation intégrés (coupe A-A)

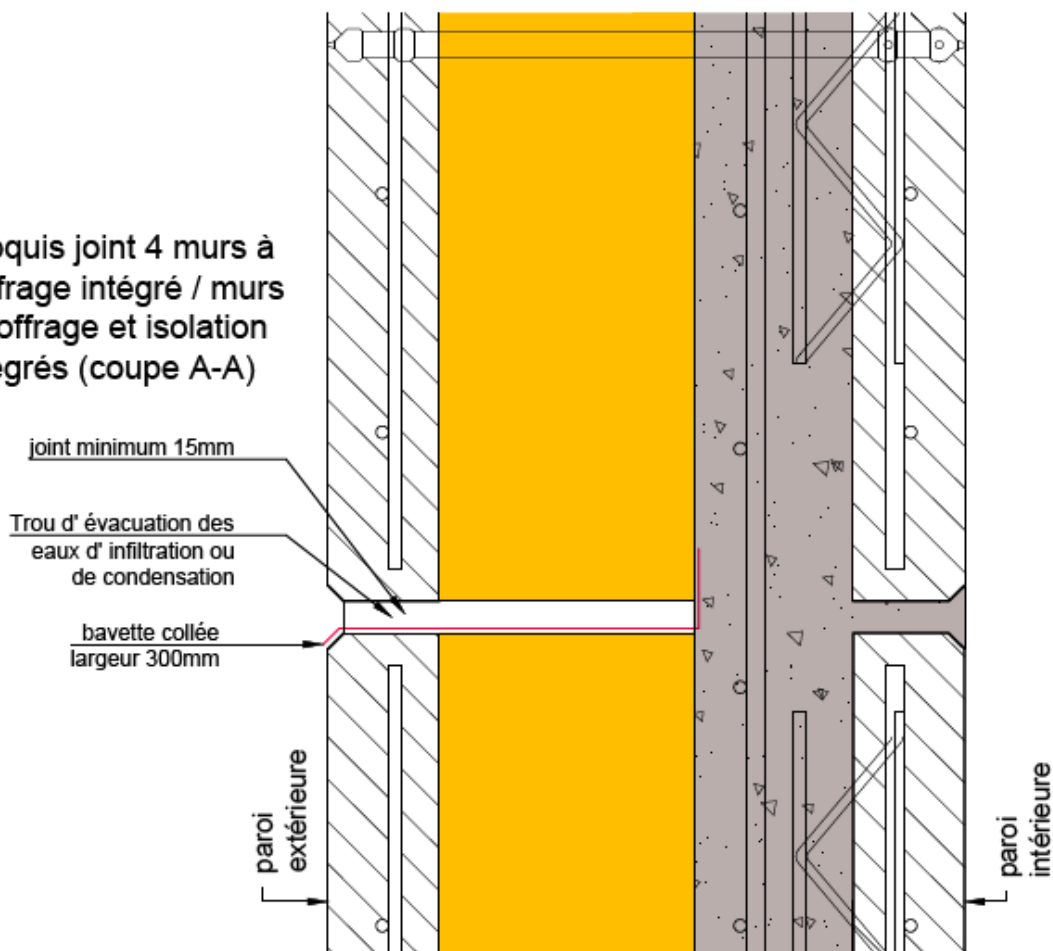


Figure 43 - Joint d'étanchéité entre parois extérieures

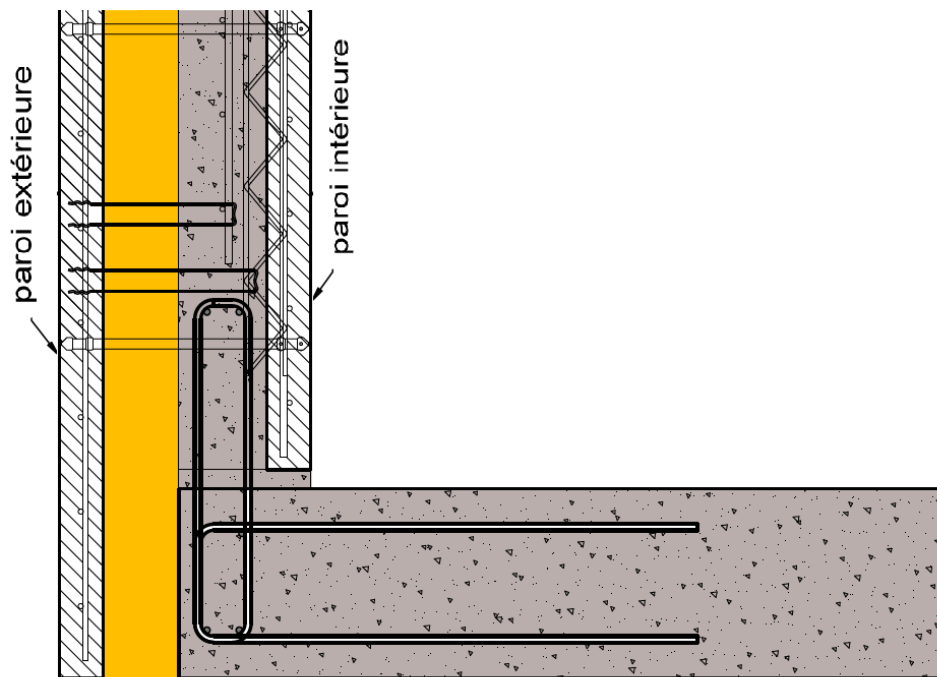


Figure 44 - Mur 2000+ COMFORT sur une dalle porteuse

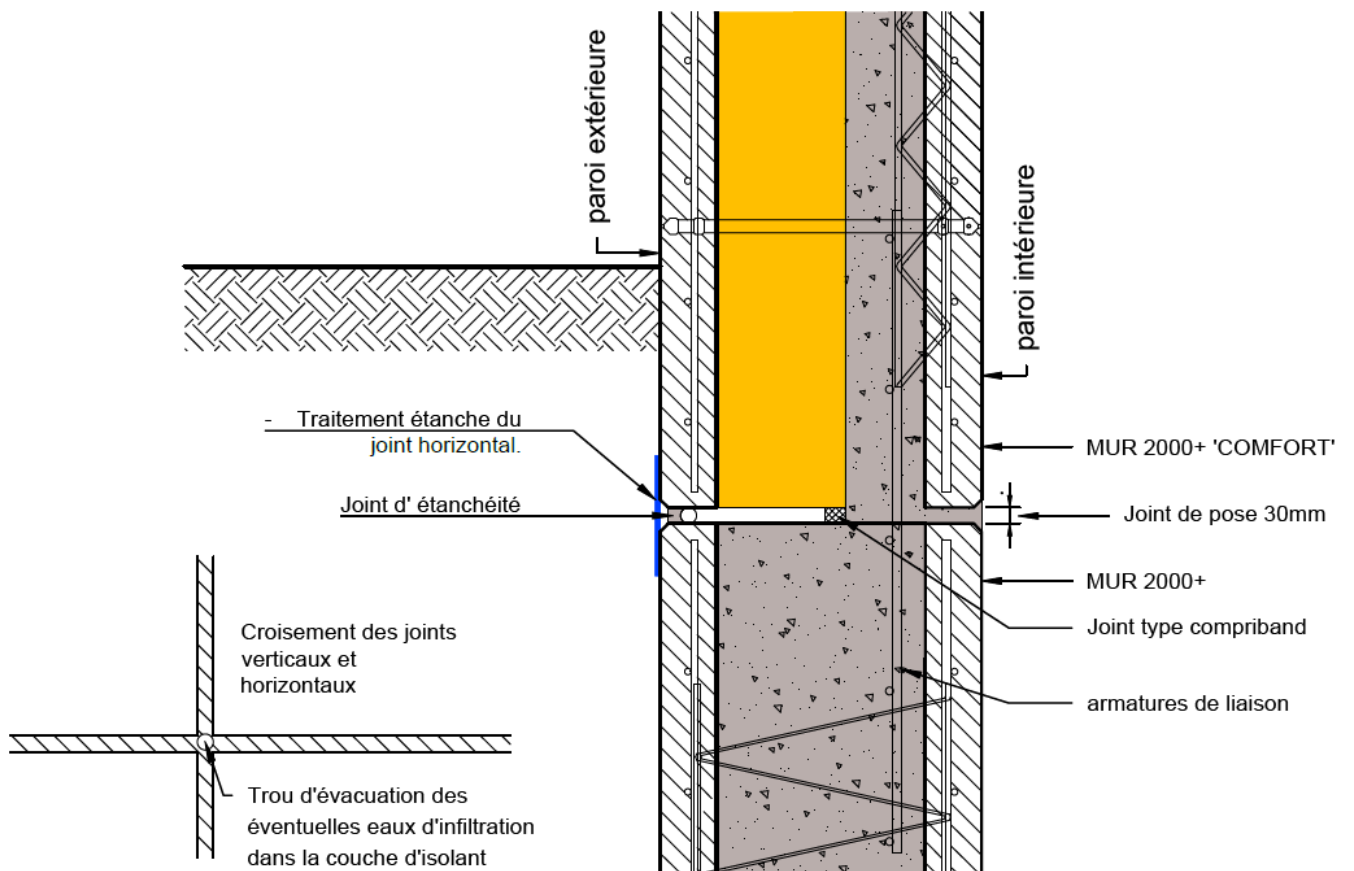


Figure 45 - Liaison mur MC21 - Mur MCI

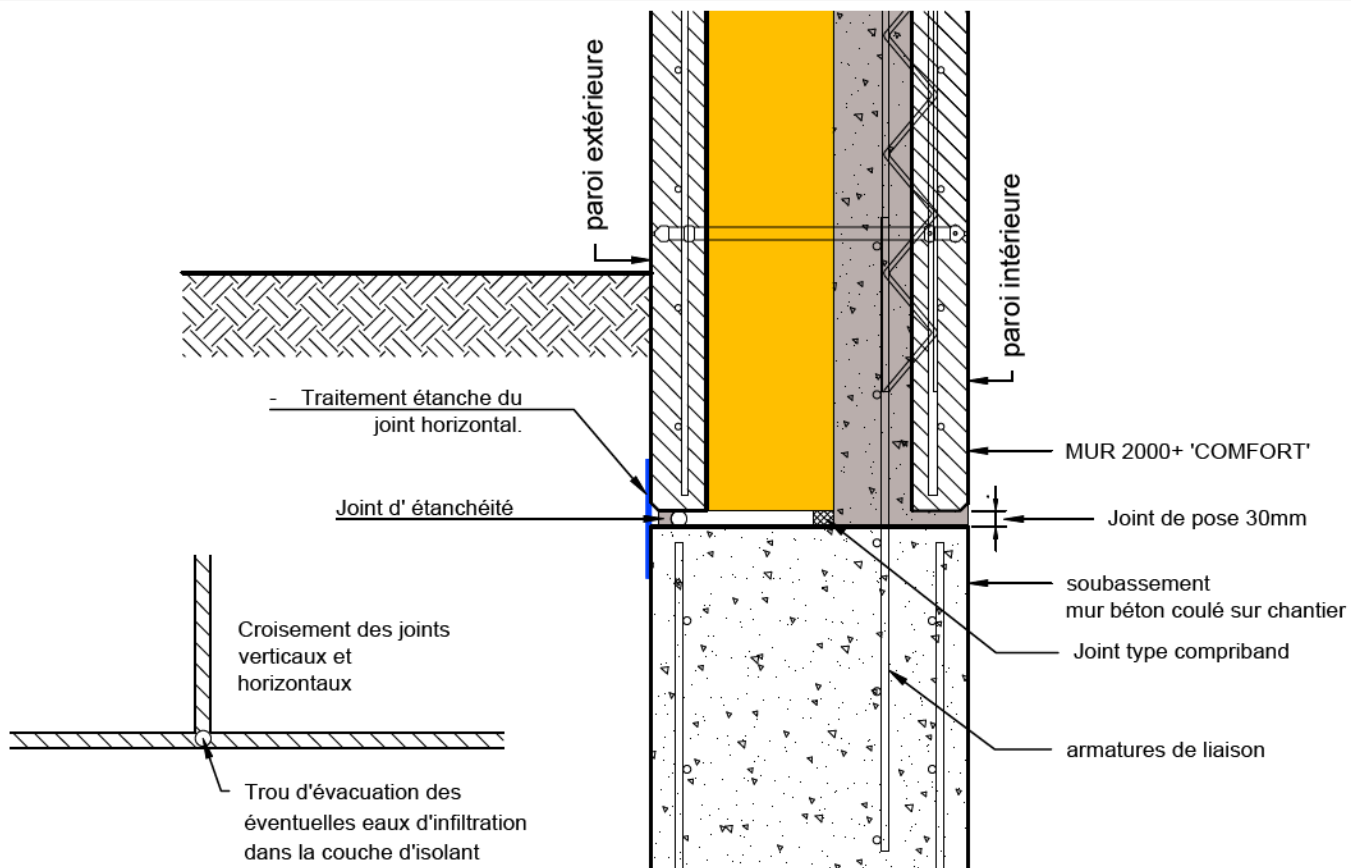


Figure 46 - Liaison MC2I - mur de soubassement en béton armé

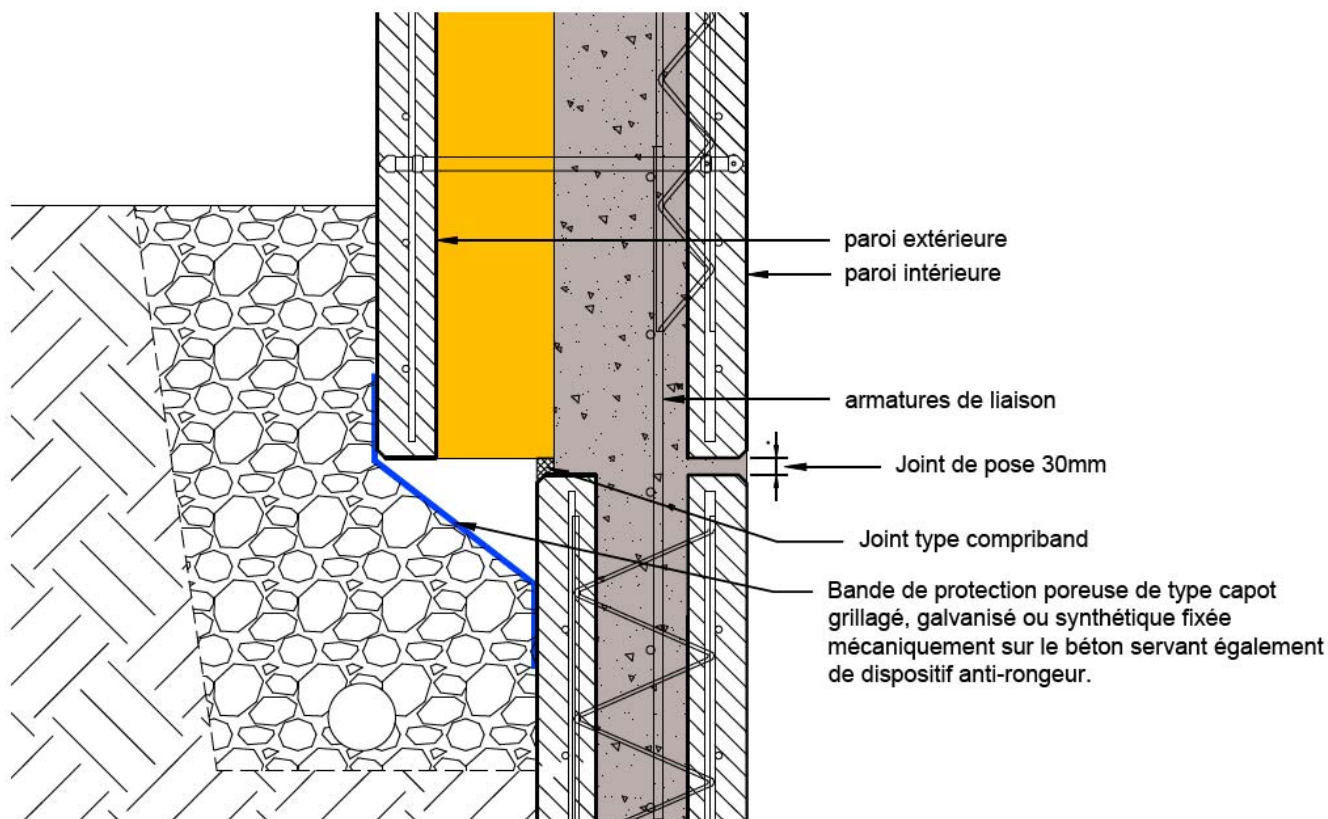


Figure 47 - Détail en pied avec système anti - rongeur

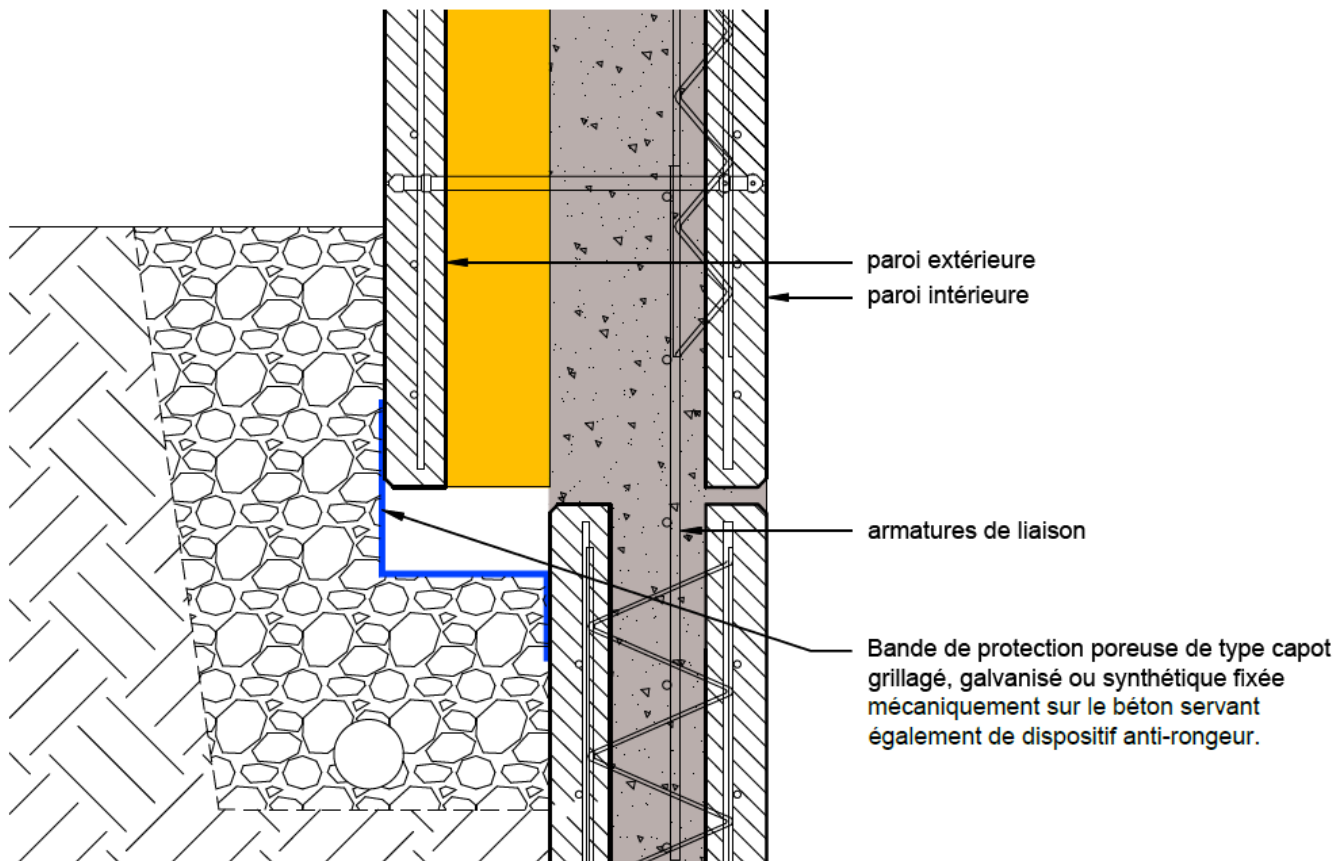


Figure 48 - Détail en pied avec système anti - rongeur

Annexe IX : Traitement des baies

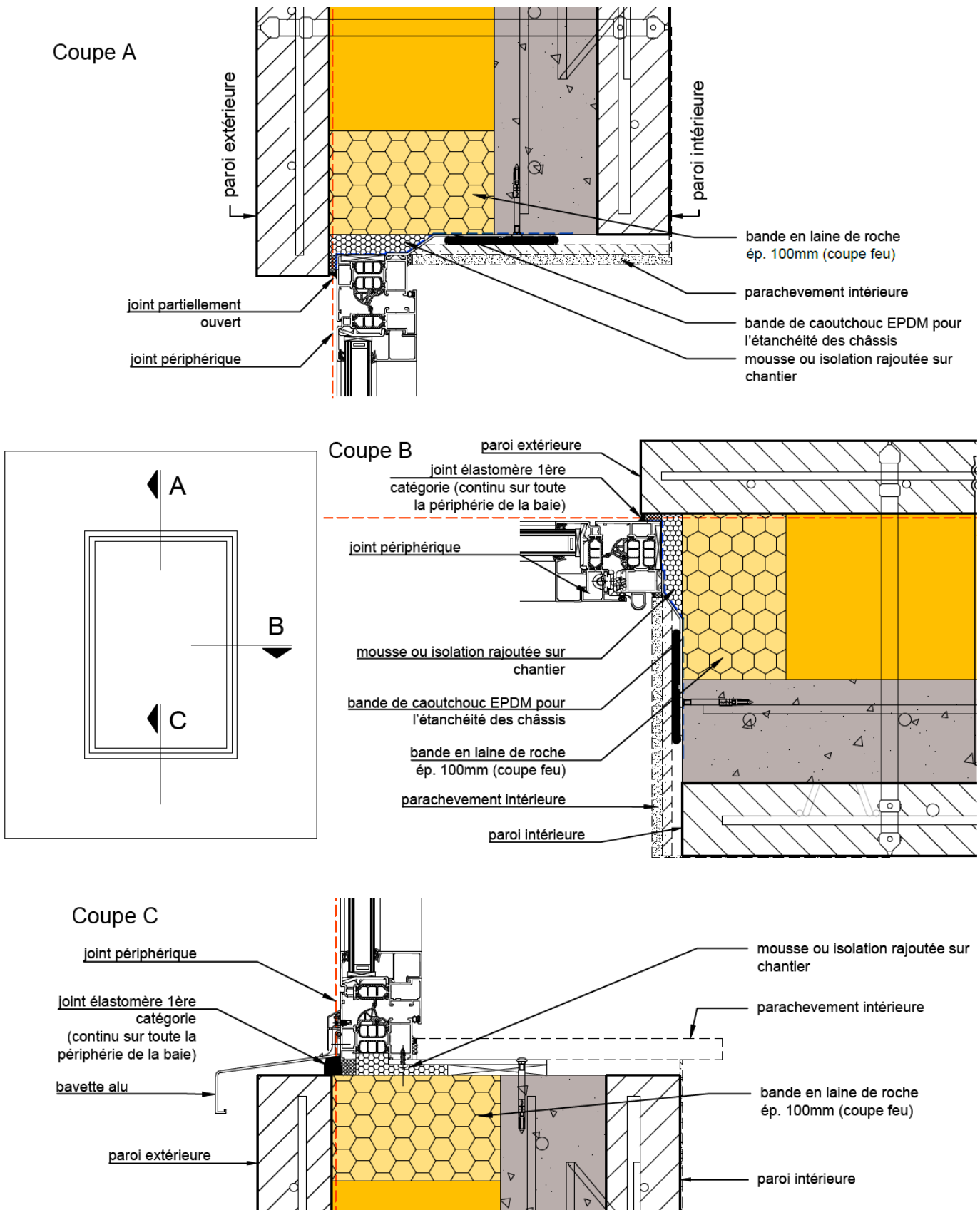
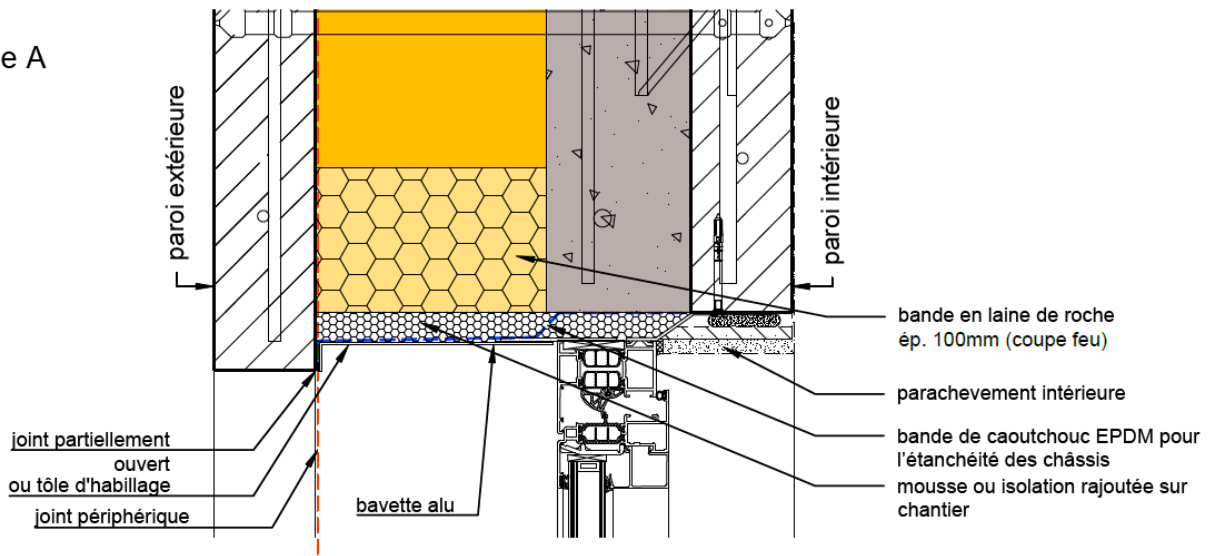
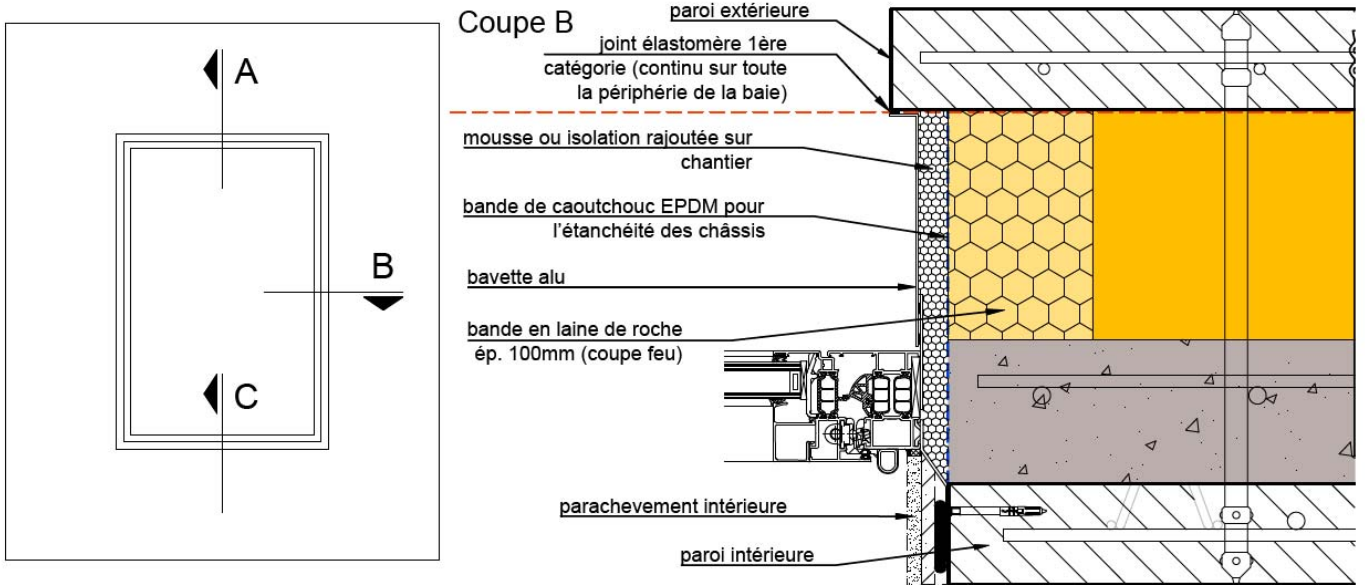


Figure 49 - Pose en feuillure

Coupe A



Coupe B



Coupe C

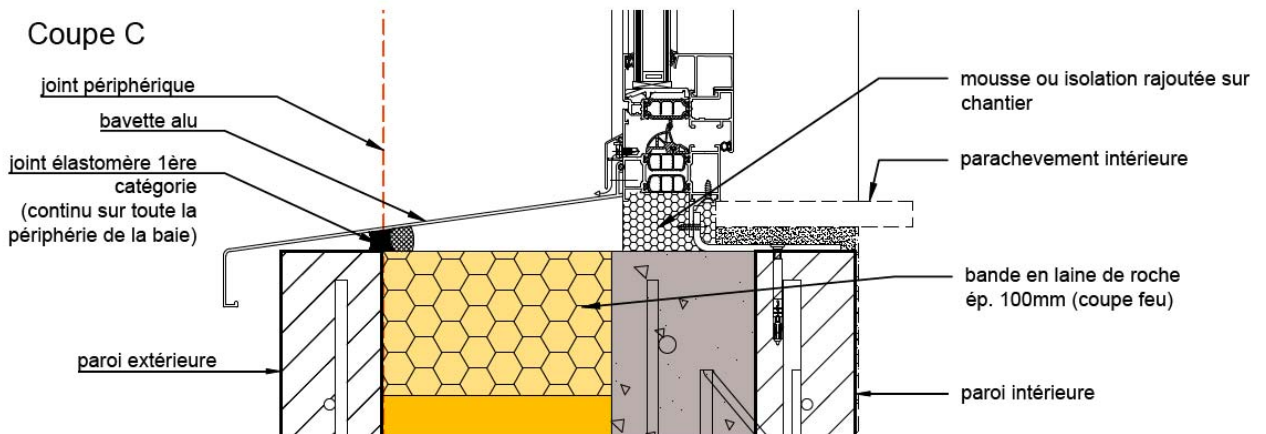
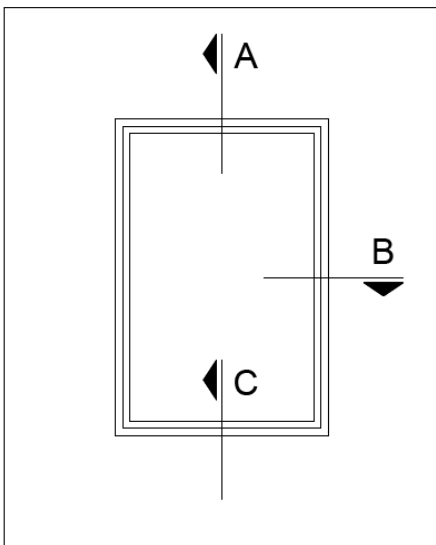
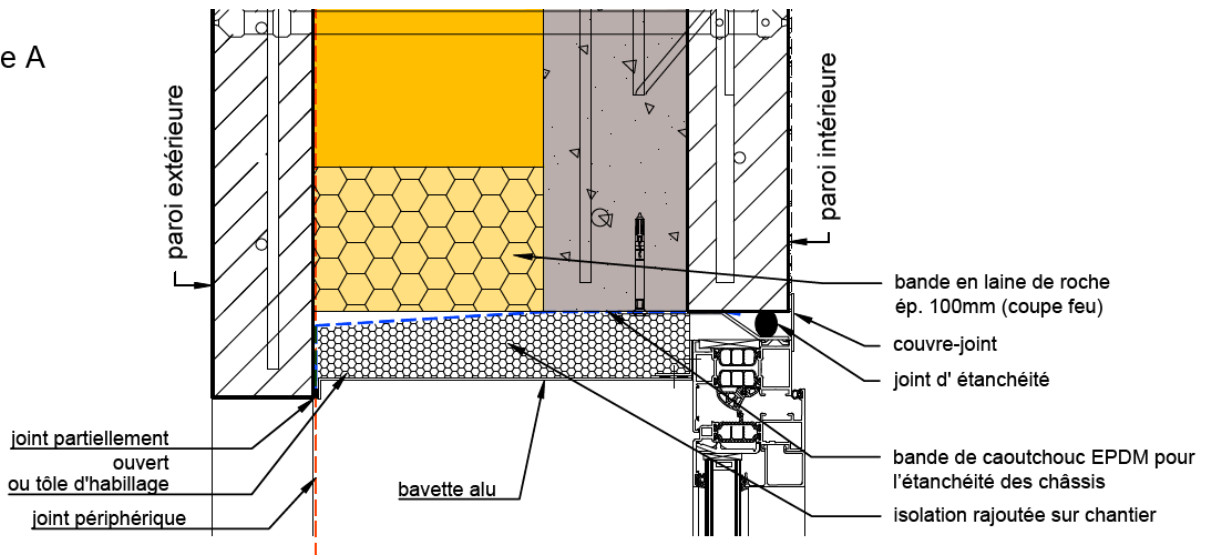
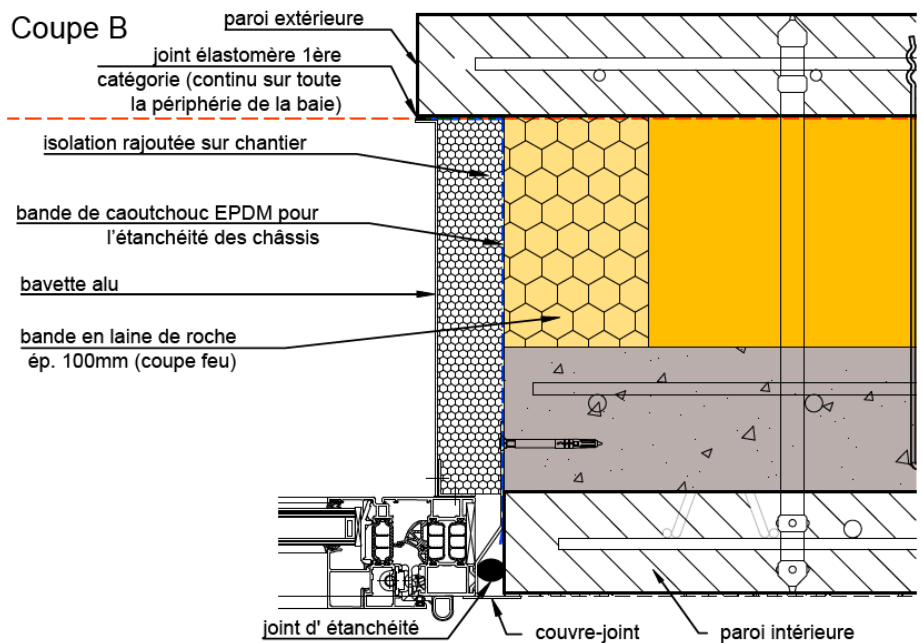


Figure 50 - Pose en tunnel

Coupe A



Coupe B



Coupe C

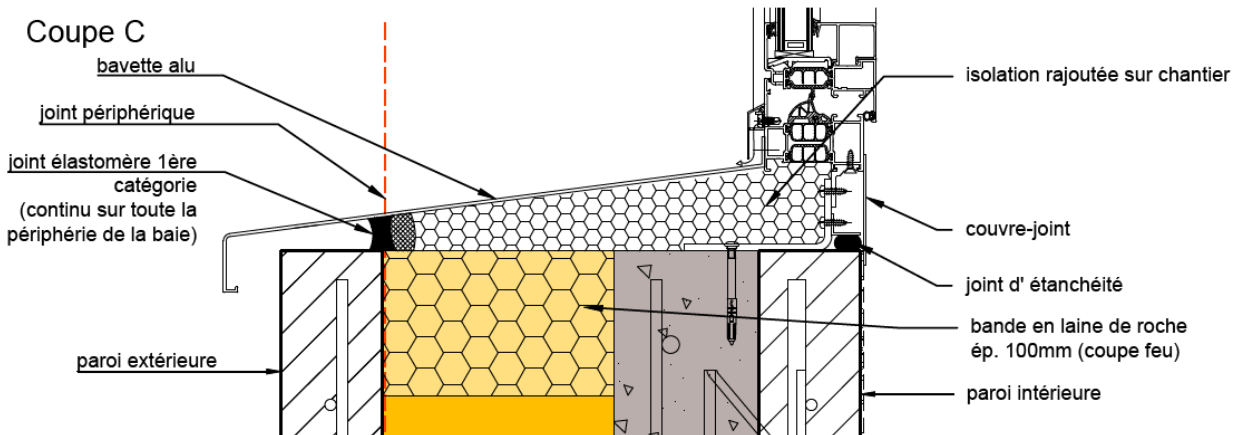


Figure 51 - Pose en appliqué intérieur

1. Douilles d'étaieiment

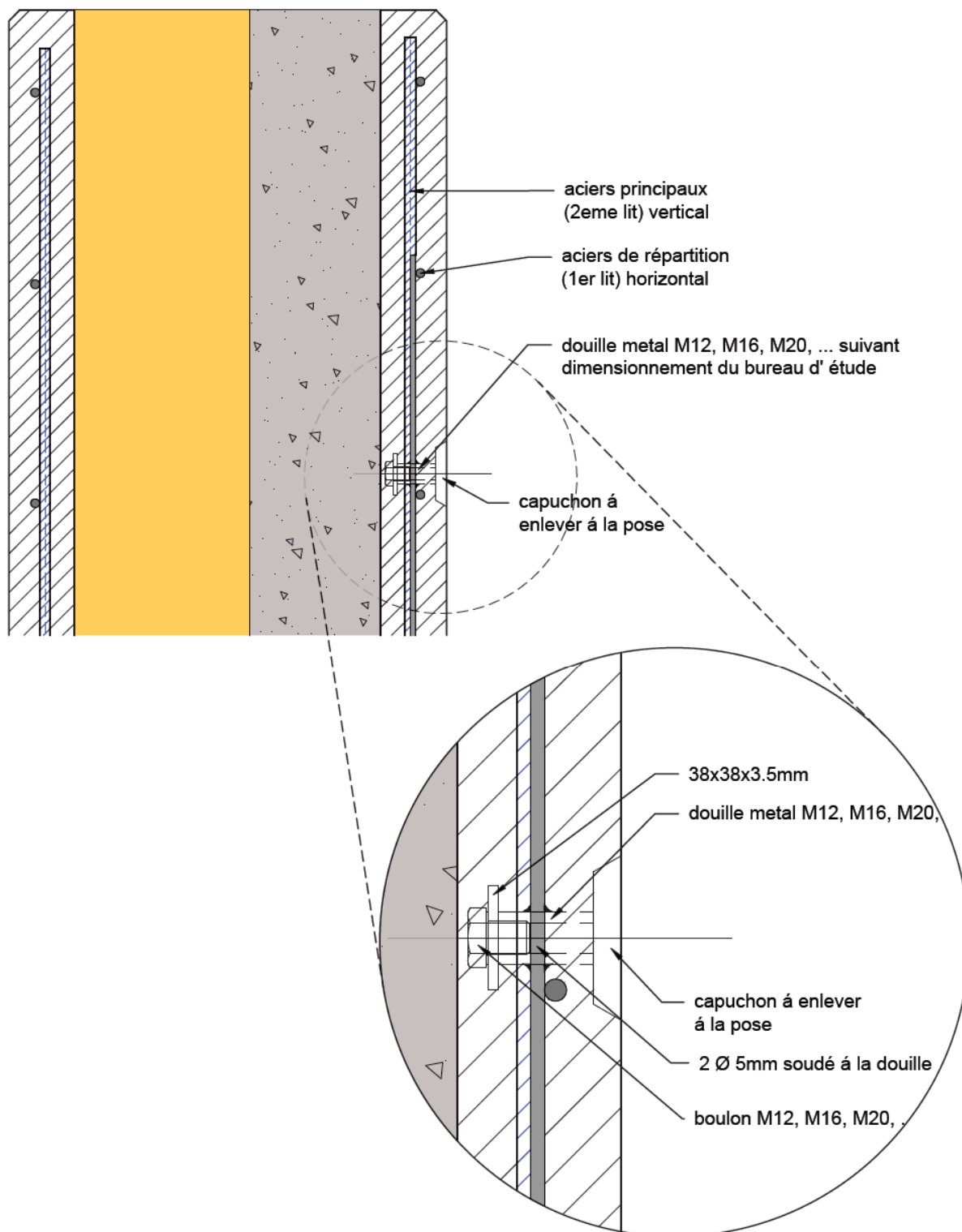
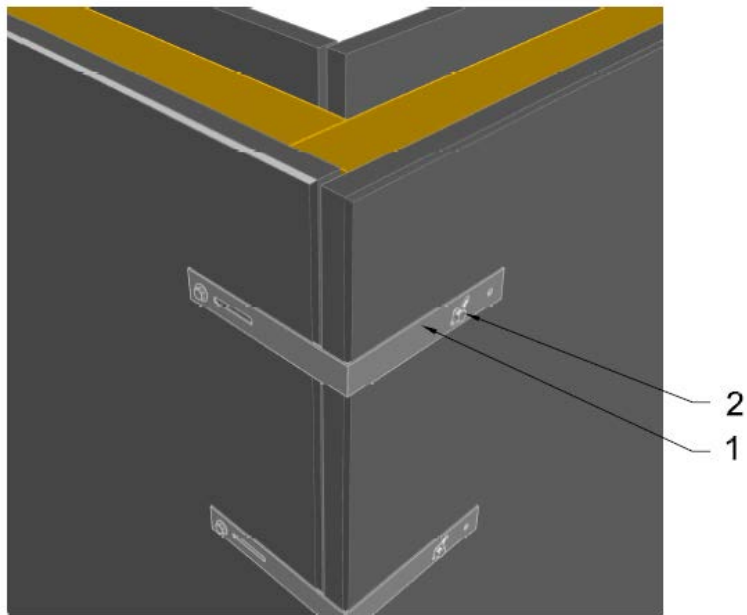


Figure 52 - Douilles d'étaieiment

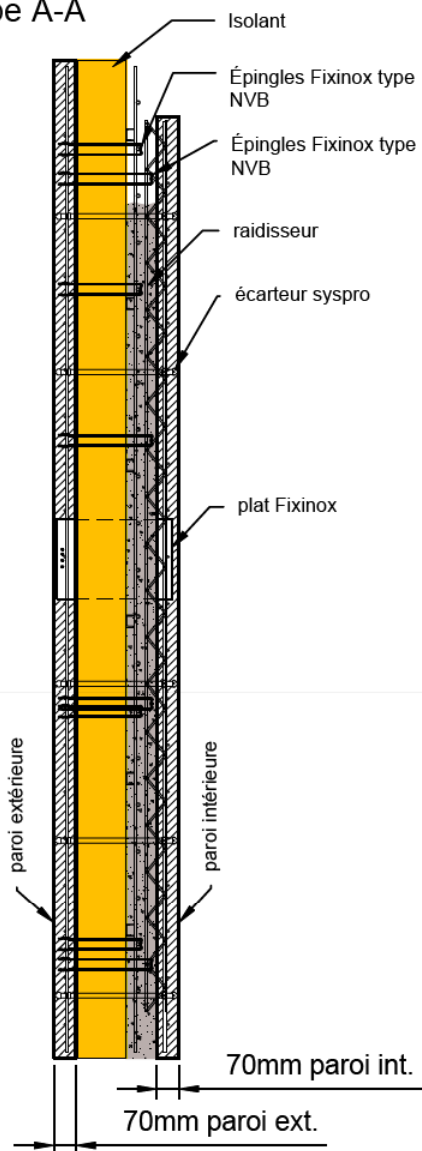
2. Equerrage en phase provisoire



1. équerre
2. fixation par vis

Figure 53 – Equerrage des retours d'angle entrant en phase provisoire (bétonnage du noyau)

3. Position des armatures et du système de liaison coupe A-A



coupe B-B

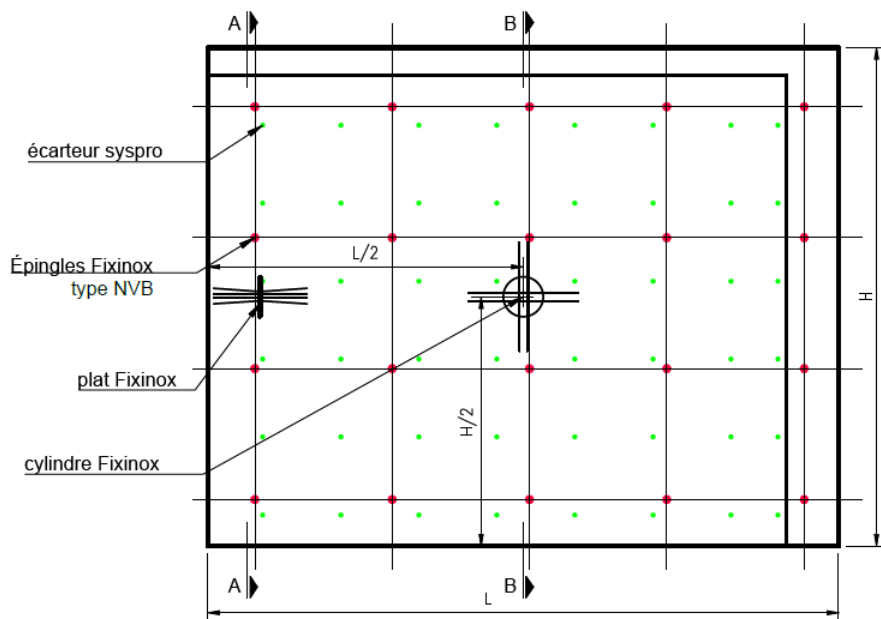
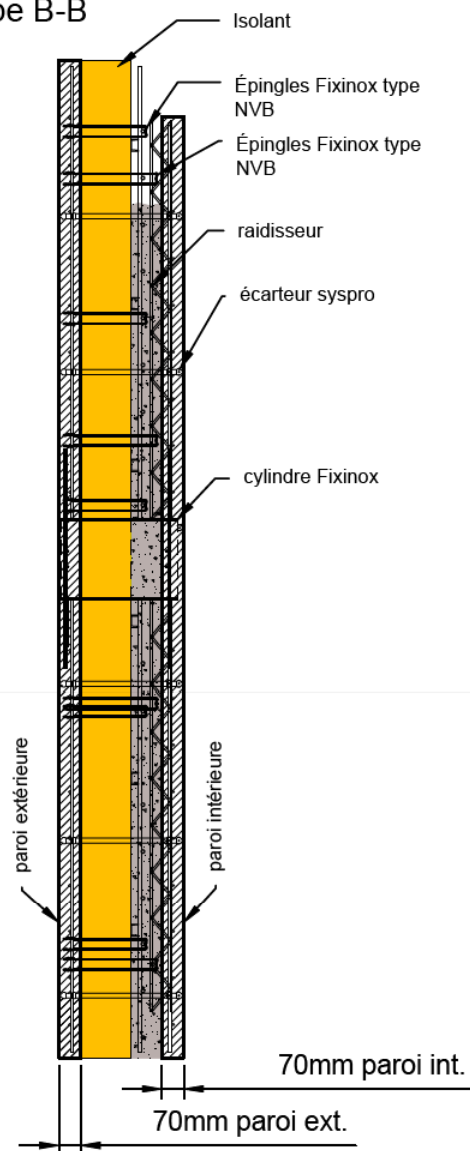


Figure 54 - Position du système de liaison. Exemple pour un mur en angle rentrant (Figure 42)

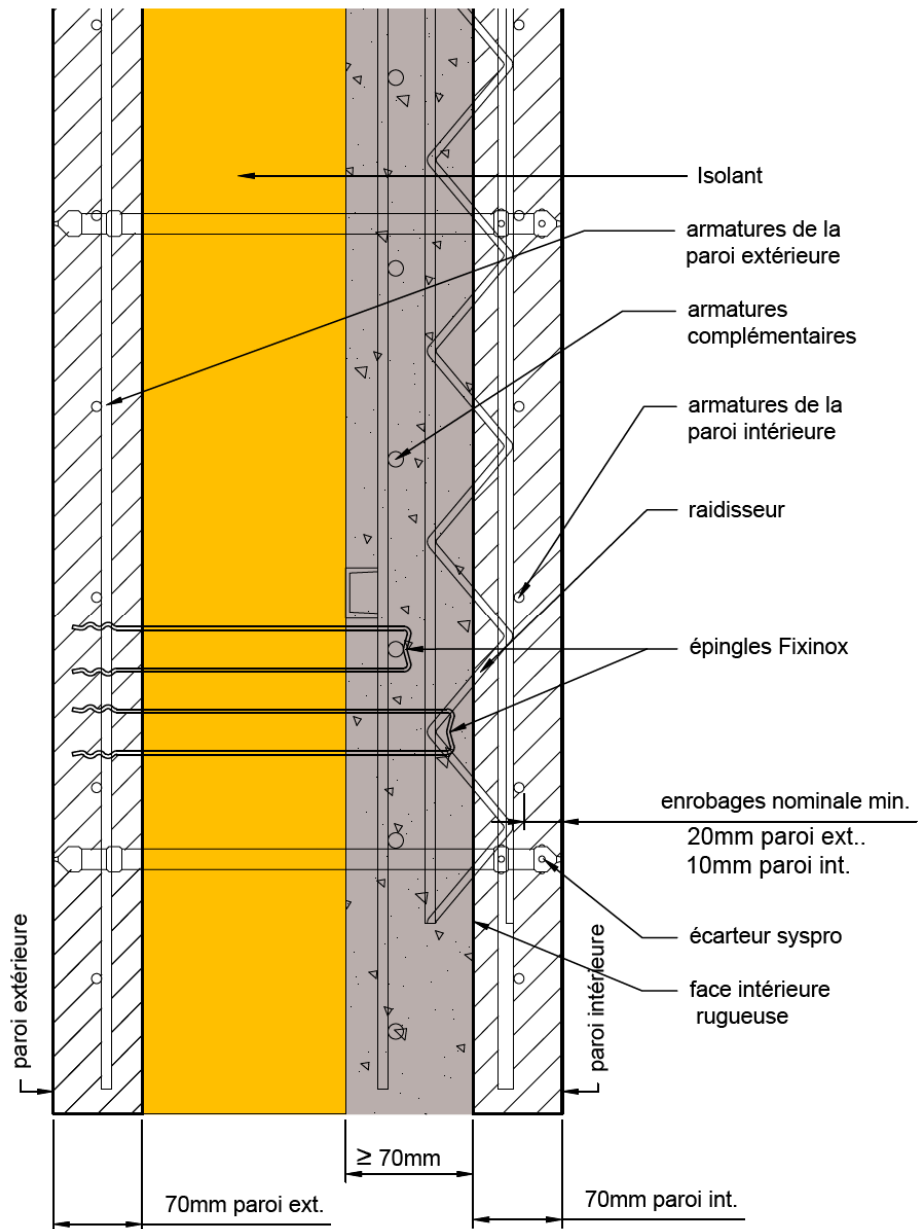


Figure 55 - Position des aciers

4. Réalisation des poteaux incorporés au « MUR 2000+ COMFORT »

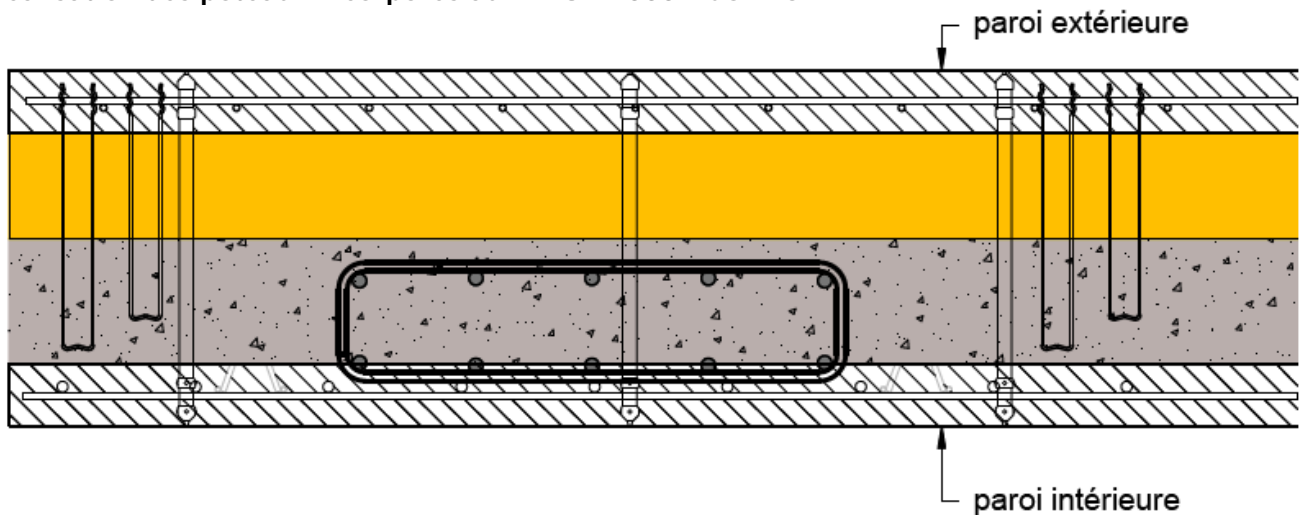


Figure 56 - Exécution du ferrailage de poteau dans les murs 2000+ COMFORT

5. Réalisation de poutres incorporées au « MUR 2000+ COMFORT »

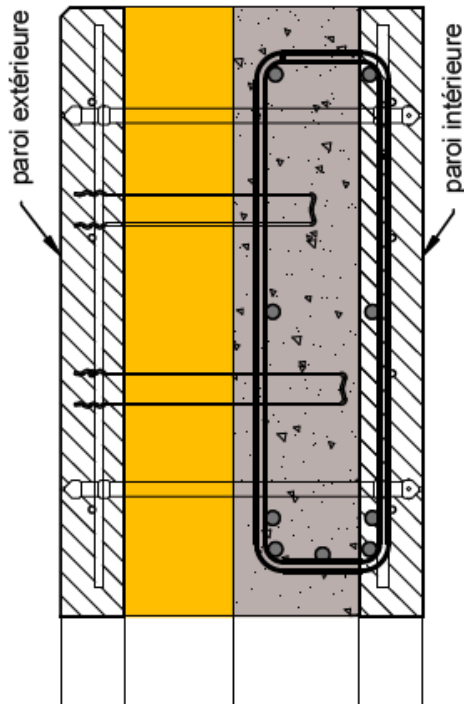


Figure 57 - Exécution du ferrillage d'une poutre dans les murs 2000+ COMFORT

6. Liaison en pied de « MUR 2000+ COMFORT »

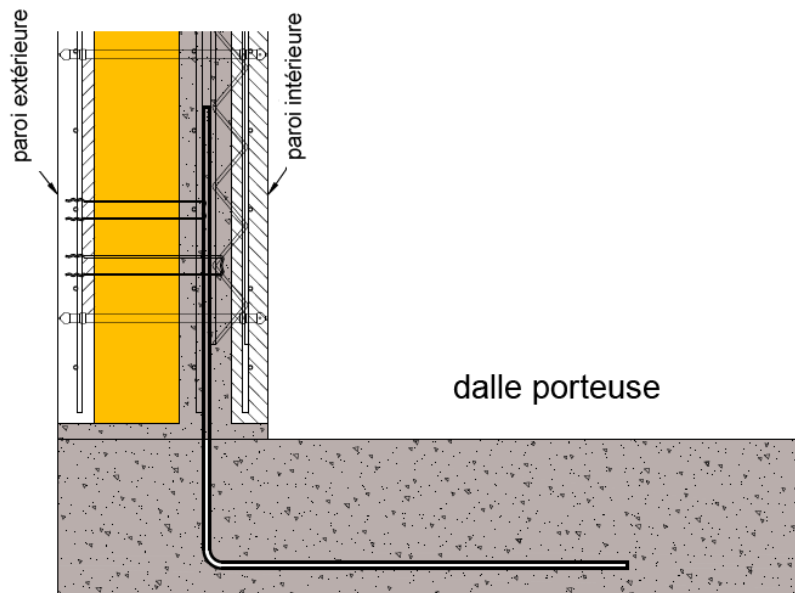


Figure 58 - Liaison articulée

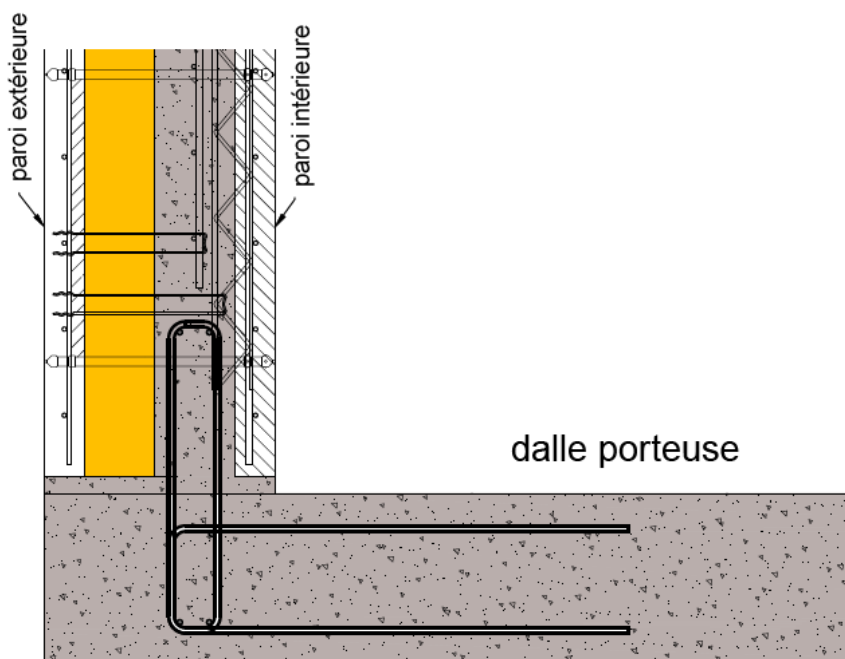


Figure 59 - Liaison encastree

7. Liaisons « MUR 2000+ COMFORT » - plancher

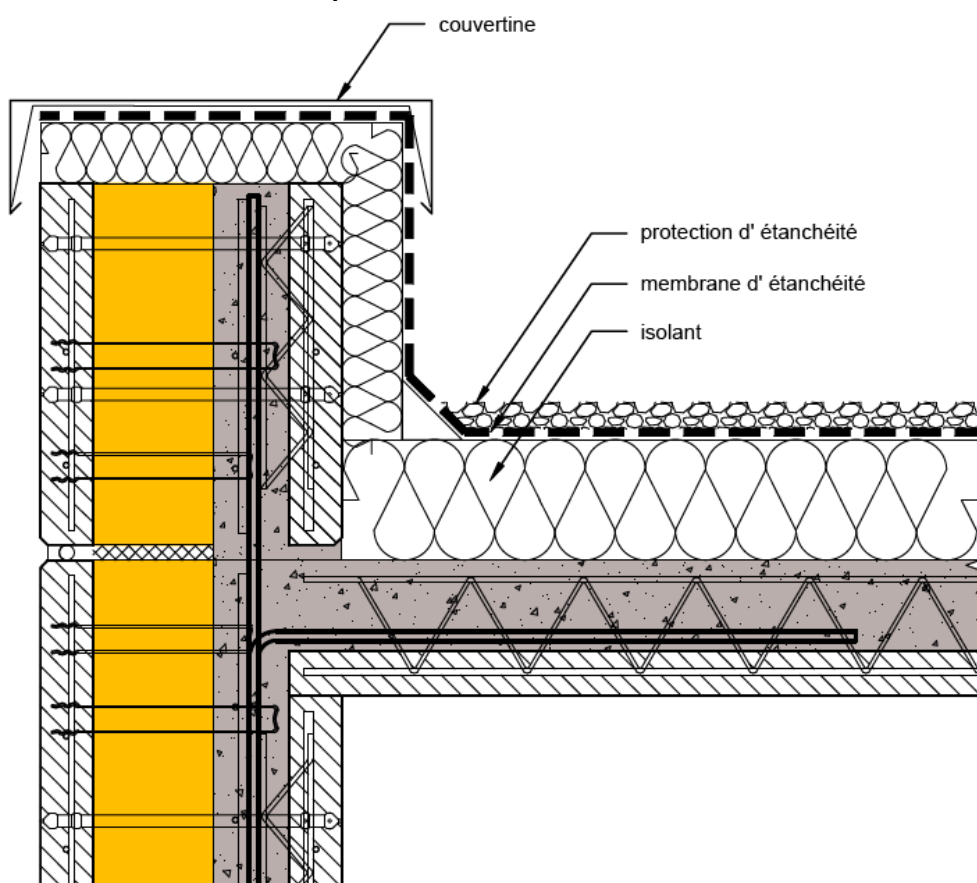


Figure 60 - Liaison murs 2000+ COMFORT avec prédalle. Cas toiture - terrasse

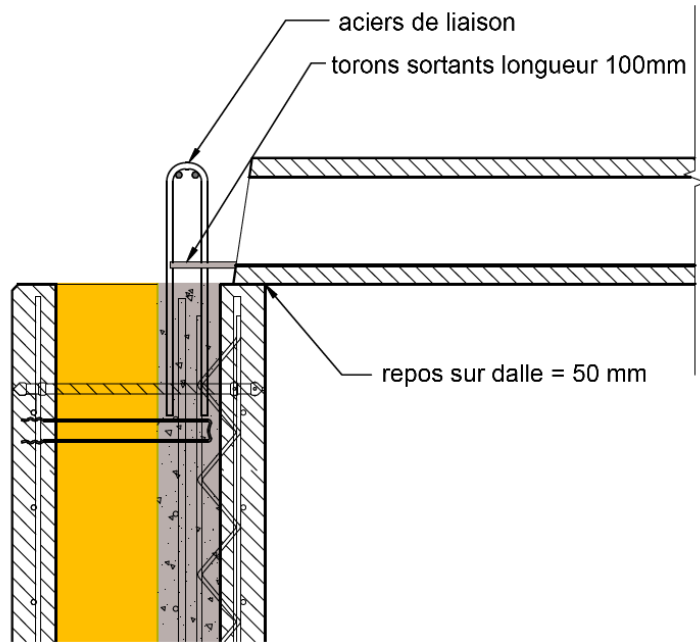


Figure 61 – Liaison Mur 2000+ COMFORT avec dalle alvéolaire

8. Liaisons verticales droites entre « MUR 2000+ COMFORT »

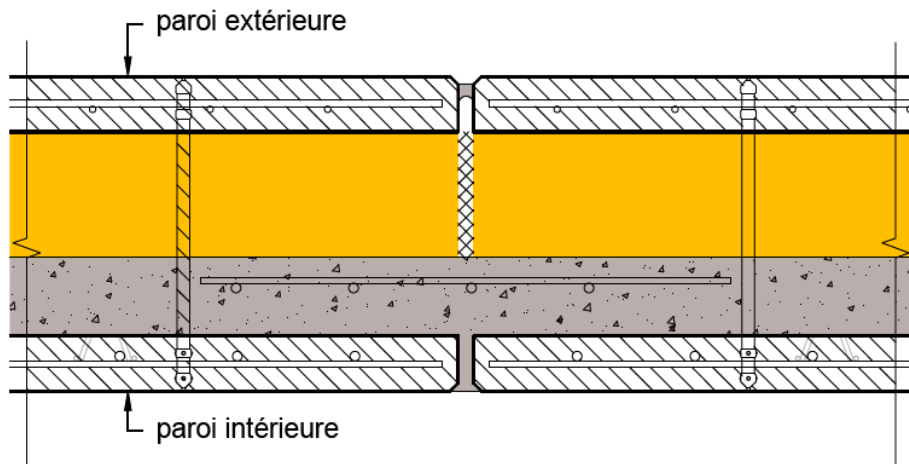


Figure 62 – Liaison articulée

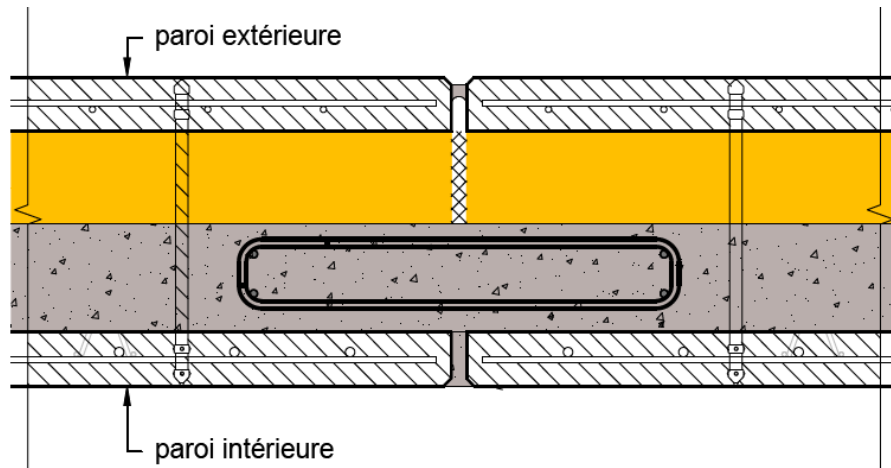


Figure 63 – Liaison encastrée entre voiles en MUR 2000+ COMFORT

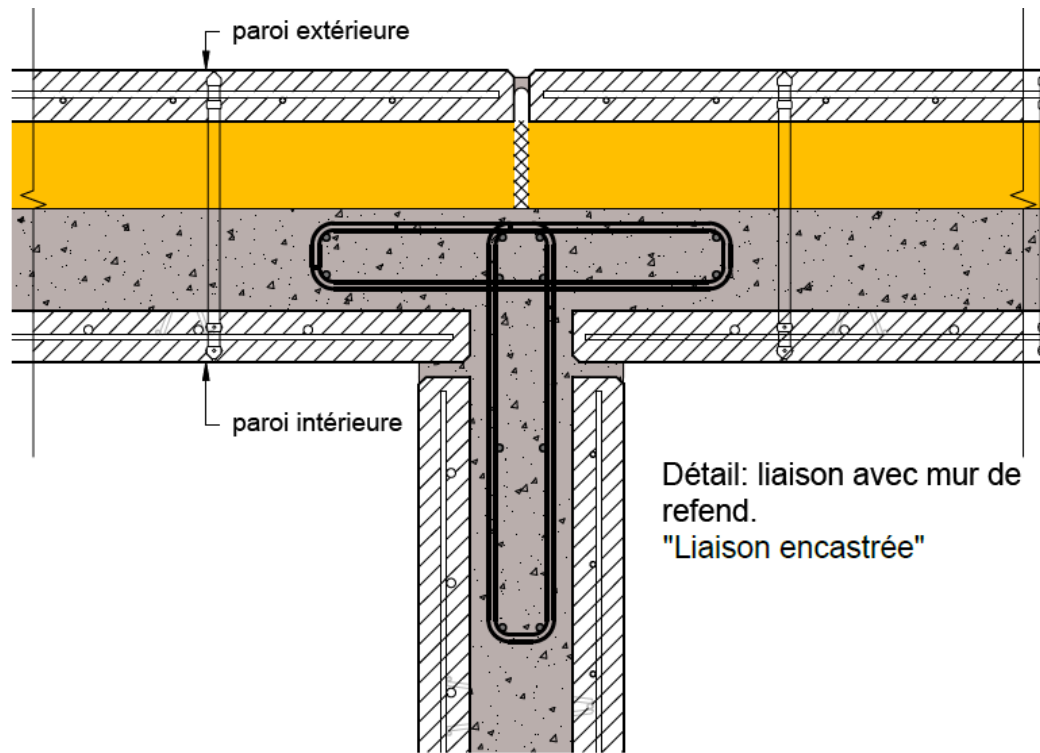


Figure 64 –Liaison encastrée avec mur de refend

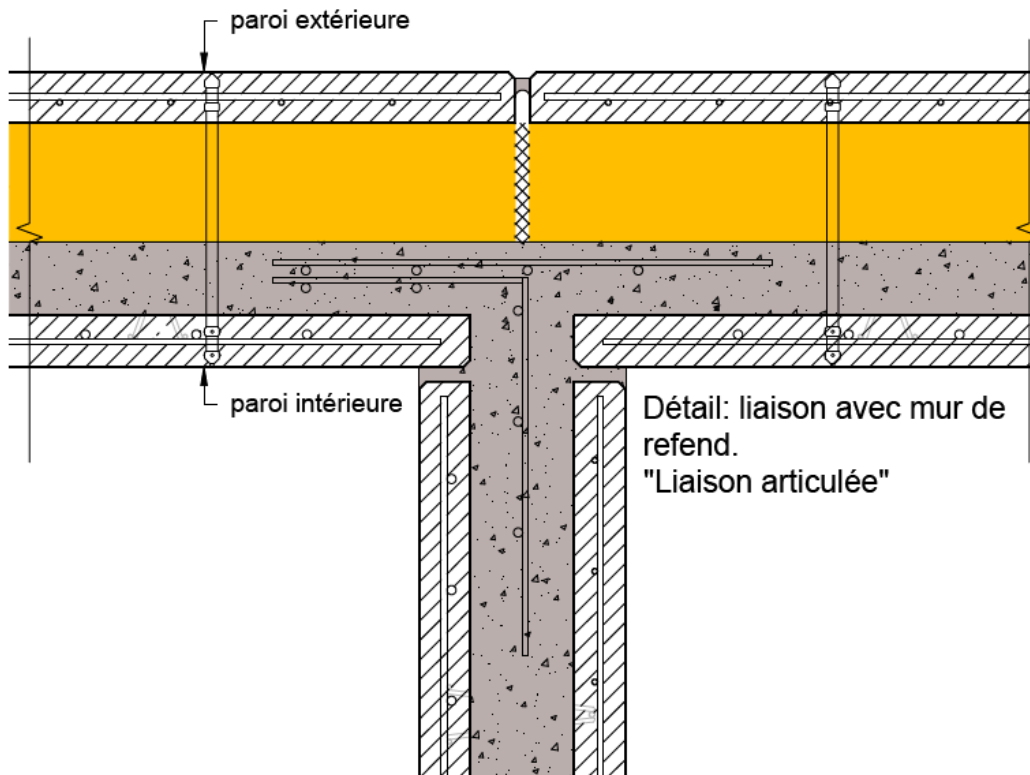


Figure 65 - Liaison articulée avec mur de refend

9. Liaisons verticales d'angle entre « MUR 2000+ COMFORT »

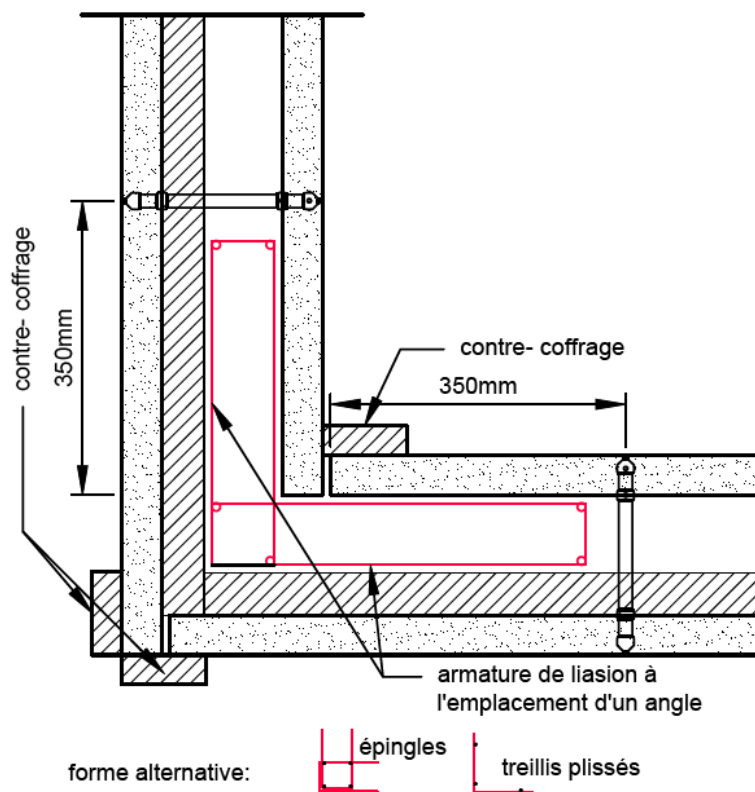
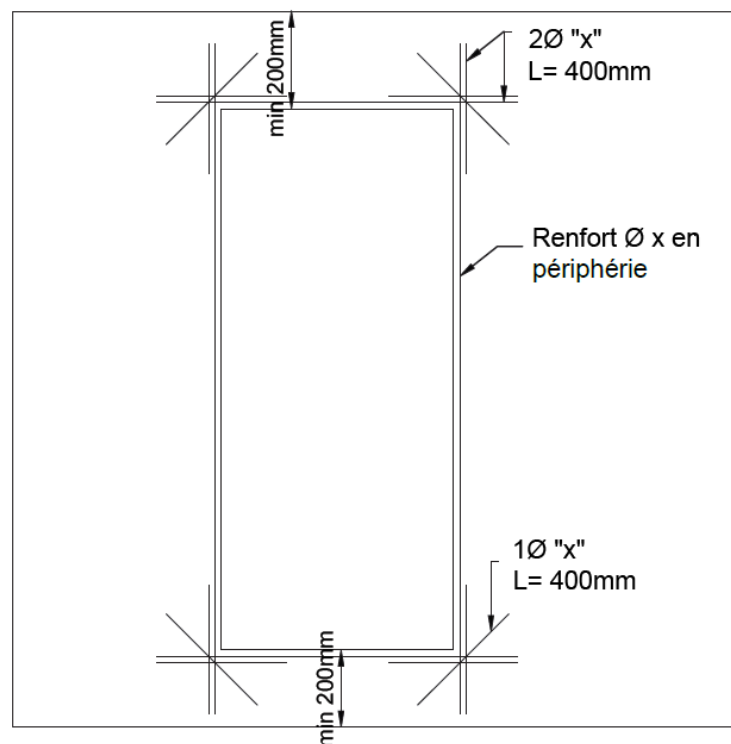


Figure 66

10. Principe de renforcement des angles d'ouvertures

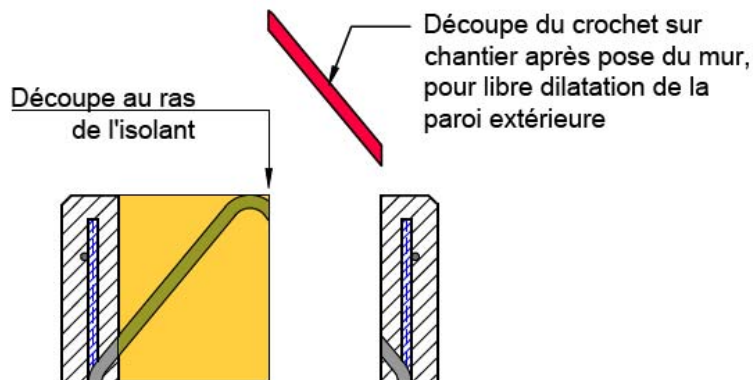
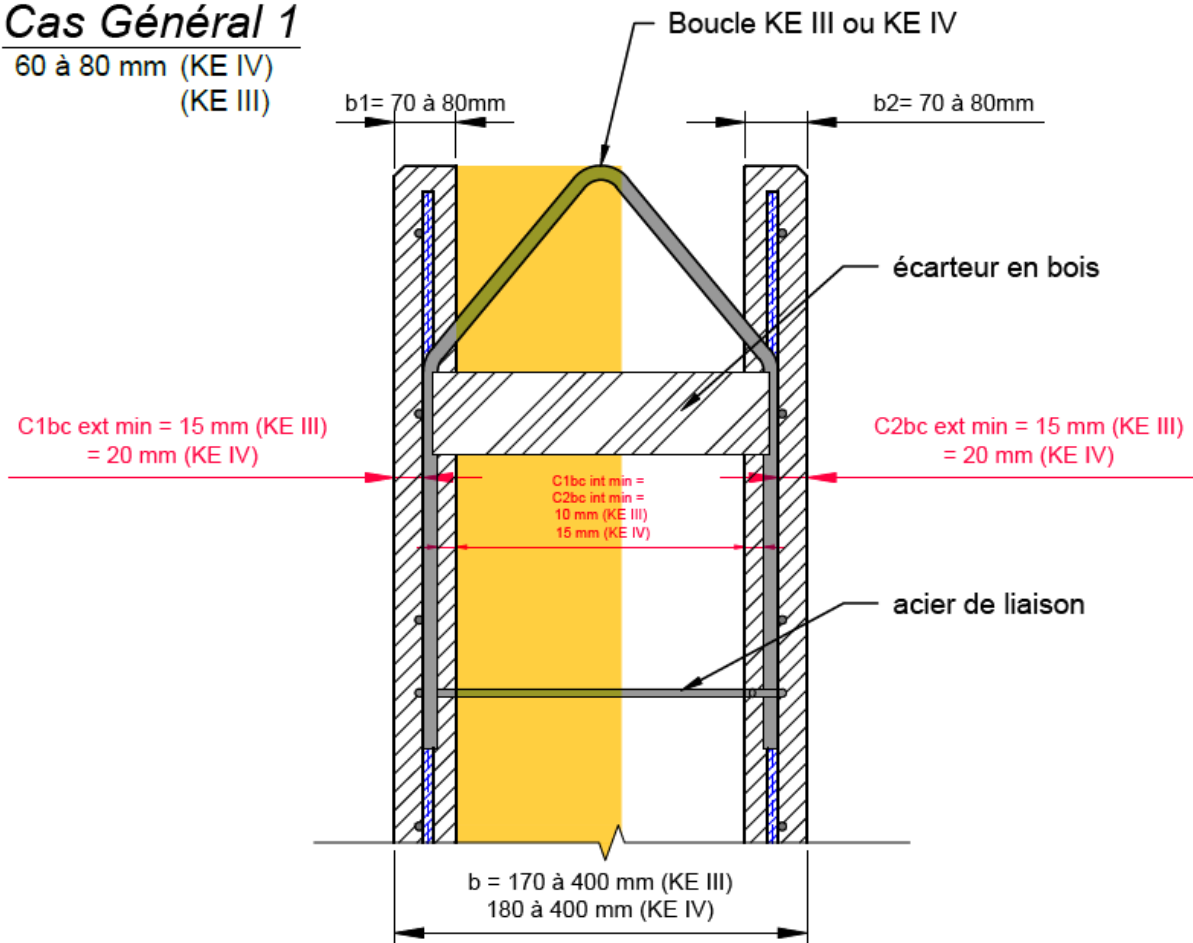


- Renfort Ø x : équivalent au Ø de ferrillage horizontal / vertical

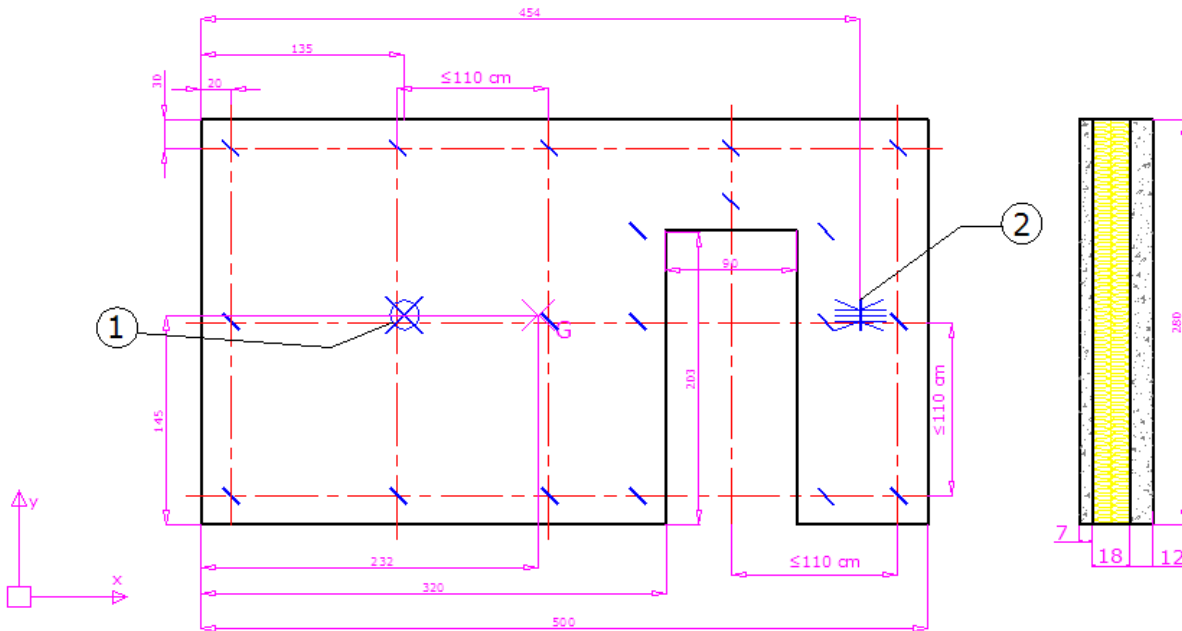
Figure 67 - Renforcement aux angles d'ouverture

Cas Général 1

60 à 80 mm (KE IV)
(KE III)



Annexe XII : Exemple de dimensionnement du système de fixation. Panneau avec ouverture (calcul en situation sismique)



Hypothèses de calcul :

- Zone sismique 3
- Catégorie d'importance du bâtiment : III (ERP 2^{ème} catégories)
- Sol de classe A

1/ Poids propre de la peau externe :

$$G = (5 \times 2,8 - 0,9 \times 2,03) \times 0,07 \times 25 = 21,3 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,c} = 1,35 \times 21,3 = 28,76 \text{ kN}$$

2/ Calcul de l'action sismique

$$F_a = (S_a \cdot G \cdot \gamma_a) / q_a ;$$

$$\gamma_a = 1,0 ;$$

$$q_a = 1 ;$$

$$S_a = \alpha \cdot S \cdot [3(1 + z/H)/(1 + (1 - T_a/T_1)^2) - 0,5] \text{ avec } z/h = 1 \text{ et } T_a/T_1 = 1 ;$$

$$\alpha = \gamma_I \cdot a_{gr} / g$$

$$S = 1 ; \quad \gamma_I = 1,2 \quad \rightarrow \quad \alpha = 1,2 \times 1,1/10 = 0,132 ; \quad \text{d'où } S_a = 5,5 \times 0,132 \times 1 = 0,726 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Alors } F_a = 0,726 \times 21,3 \times 1 / 1 = 15,46 \text{ kN}$$

3/ Position du centre de gravité:

Origine du repère cartésien (O, X, Y) étant le coin bas à gauche du panneau

$$X_G = \frac{5 \times 2,8 \times 2,5 - 0,9 \times 2,03 \times 3,65}{5 \times 2,8 - 0,9 \times 2,03} = 2,33 \text{ m}$$

$$Y_G = \frac{5 \times 2,8 \times 1,4 - 0,9 \times 2,03 \times 1,015}{5 \times 2,8 - 0,9 \times 2,03} = 1,46 \text{ m}$$

4/ Charges appliquées sur les ancrés

- ancre 1 :

$$V_{Sd,c} = 1,35 \times \frac{4,54-2,32}{4,54-1,35} \times 21,3 = 20,01 \text{ kN}$$

$$V_{Sd,c,dyn} = Fa = 15,46 \text{ kN}$$

- ancre 2 :

$$V_{Sd,p} = 1,35 \times \frac{2,32-1,35}{4,54-1,35} \times 21,3 = 8,74 \text{ kN}$$

5/ Choix :

A/ ancre 1:

Cylindre Ma Ø 229 mm, hauteur 340 mm

$$V_{Rd,c} = 42,1 \text{ kN} > 20,01 \text{ kN} \quad (\text{cf Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU}) \dots\dots\dots \text{ok}$$

$$V_{Rd,c,dyn} = 42,1 \times 0,4 = 16,84 \text{ kN} > Fa = 15,46 \text{ kN} \quad \dots\dots\dots \text{ok}$$

= > article : FIX-05MA-340-229

B/ ancre 2:

Plaque Fa longueur 120 mm, Hauteur 340 mm et de 3 mm d'épaisseur.

$$V_{Rd,p} = 11,7 \text{ kN} > V_{Sd,p} = 8,74 \text{ kN} \quad (\text{cf Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU}) \dots\dots\dots \text{ok}$$

= > Article : FIX-FA3-340-120

D/ Épingles : 18 épingles NVH, Ø 5 mm et de 300 mm de hauteur

= > Article : FIX-05NVH-5,0-300 (cf Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU)

6/ Vérification :

A / Distance entre la plaque (ancre 2) et le cylindre :

$$454-135 = 319 \text{ cm} < S_{adm,p} = 908 \text{ cm} \quad (\text{cf Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU}) \dots\dots\dots \text{ok}$$

B / Distance entre l'épingle la plus éloignée et l'ancre principale :

$$S = \sqrt{125^2 + 355^2} = 376,4 \text{ cm} < S_{adm,e} = 1208 \text{ cm} \quad (\text{cf Avis Technique FIXI DOUBLE PEAU}) \dots\dots\dots \text{ok}$$

C / Largeur des joints (js) entre panneaux pour éviter l'entrechoquement en situation sismique.

$$\text{Déplacement latéral maximal dû à l'action sismique : } \Delta L_{Dyn} = \frac{Fa}{K_{c,dyn}} = \frac{15,46}{97482 \times 0,5} = 0,32 \text{ mm}$$

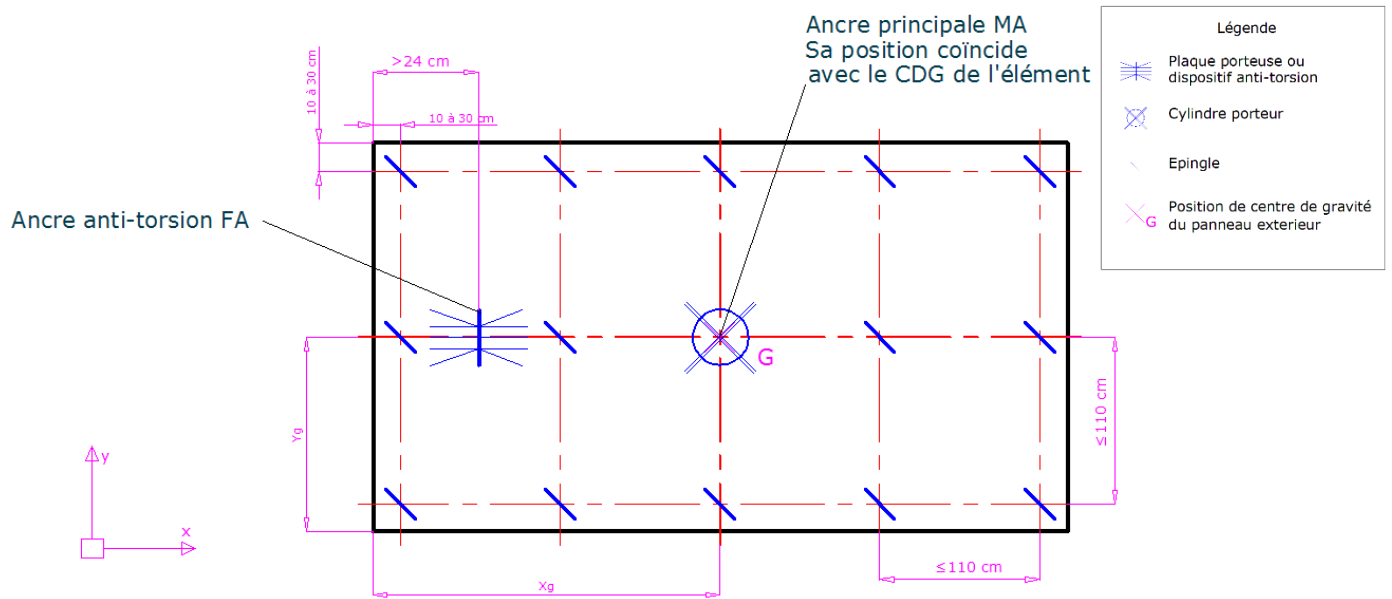
$$\text{Déplacement latéral maximal dû la dilatation thermique : } \Delta L_{Th} = T \times \alpha_b \times L = 50 \times 10 \times 10^{-6} \times (5000-1350) = 1,825 \text{ mm}$$

$$js \geq 2 \times \max(\Delta L_{Dyn}; \Delta L_{Th}) = 2 \times \max(0,32 ; 1,825) = 3,65 \text{ mm}$$

Annexe XIII : Exemples de répartition du système de fixation

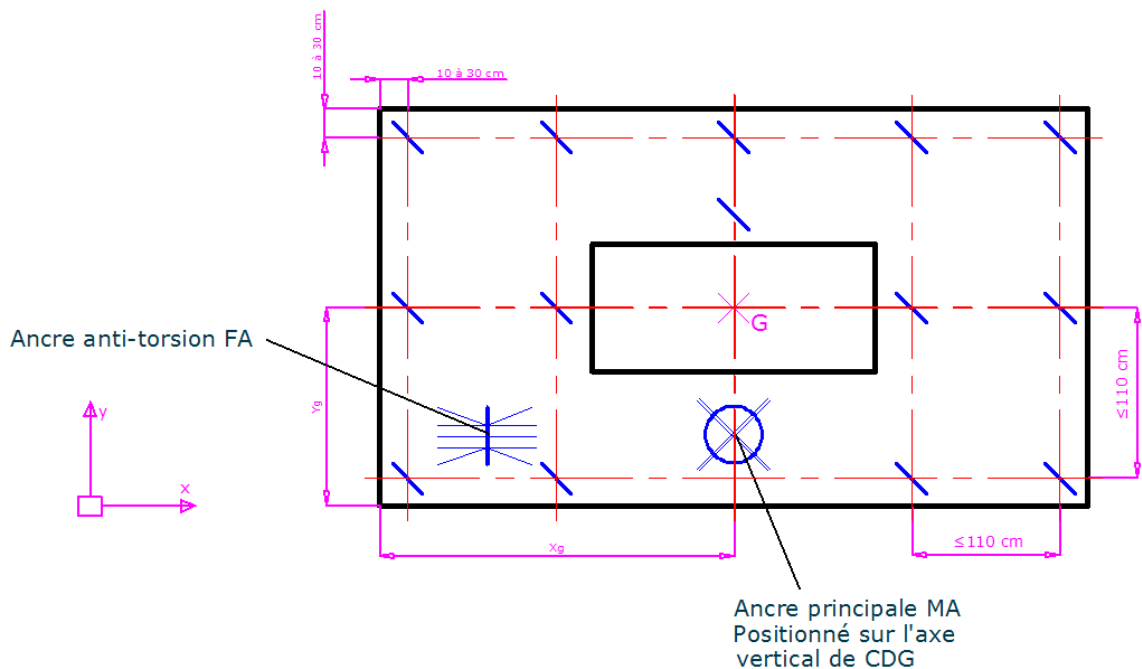
SYSTEME D'ANCRAGE MA

Panneau aveugle :



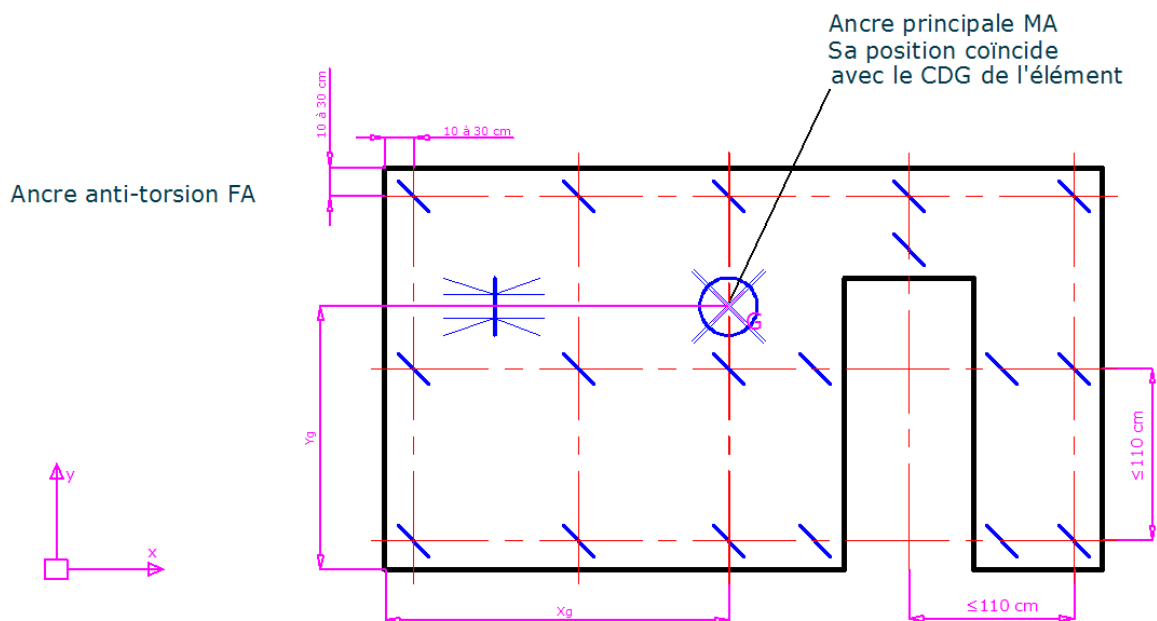
Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé dans la direction de x ou y
Le panneau peut être retourné ou basculé

Panneau avec ouverture (fenêtre) :



Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé uniquement dans la direction y

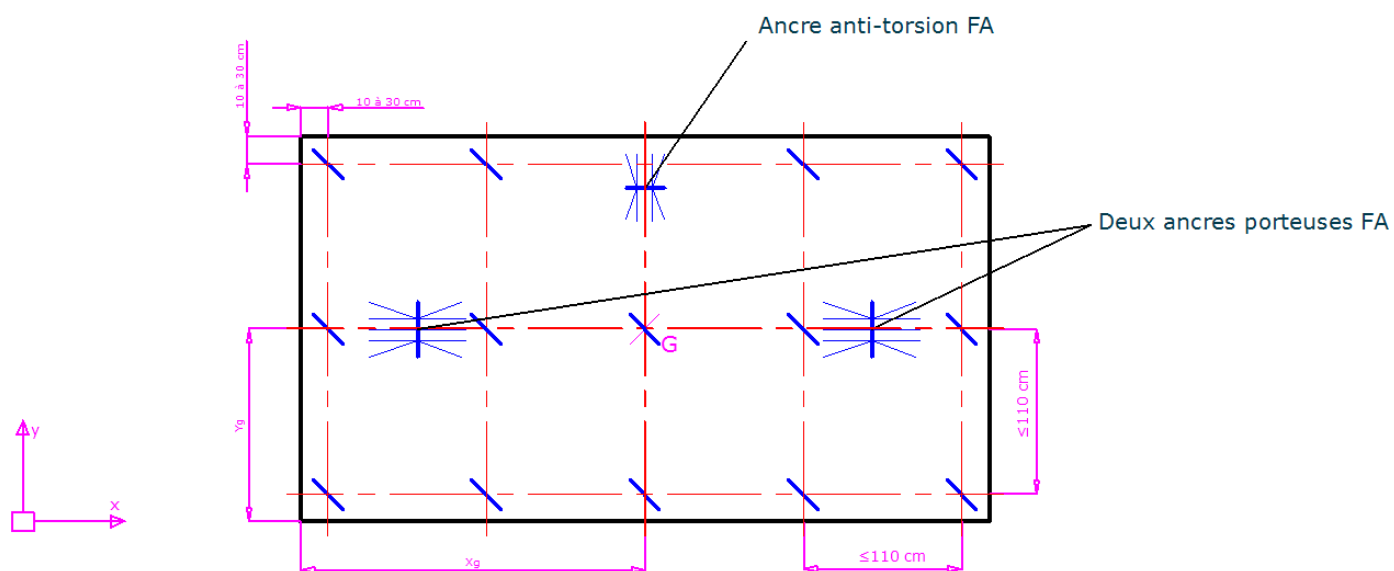
Panneau avec ouverture (porte) :



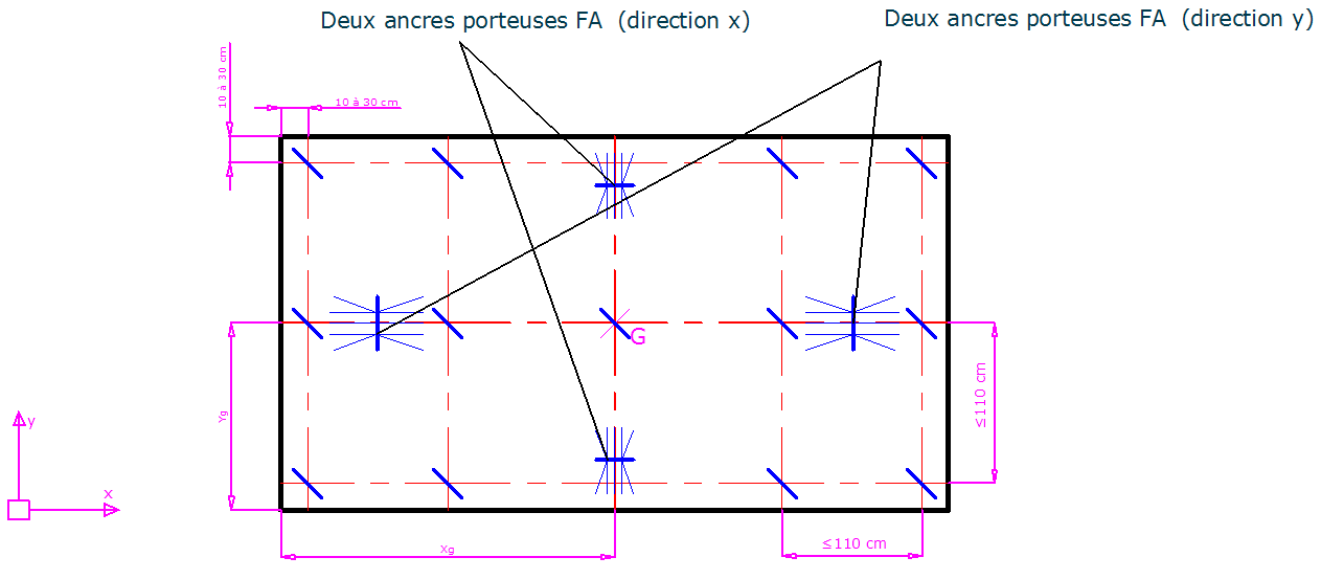
Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé dans la direction de x ou y
Le panneau peut être retourné ou basculé

SYSTEME D'ANCRAGE FA-FA

Panneaux aveugles :

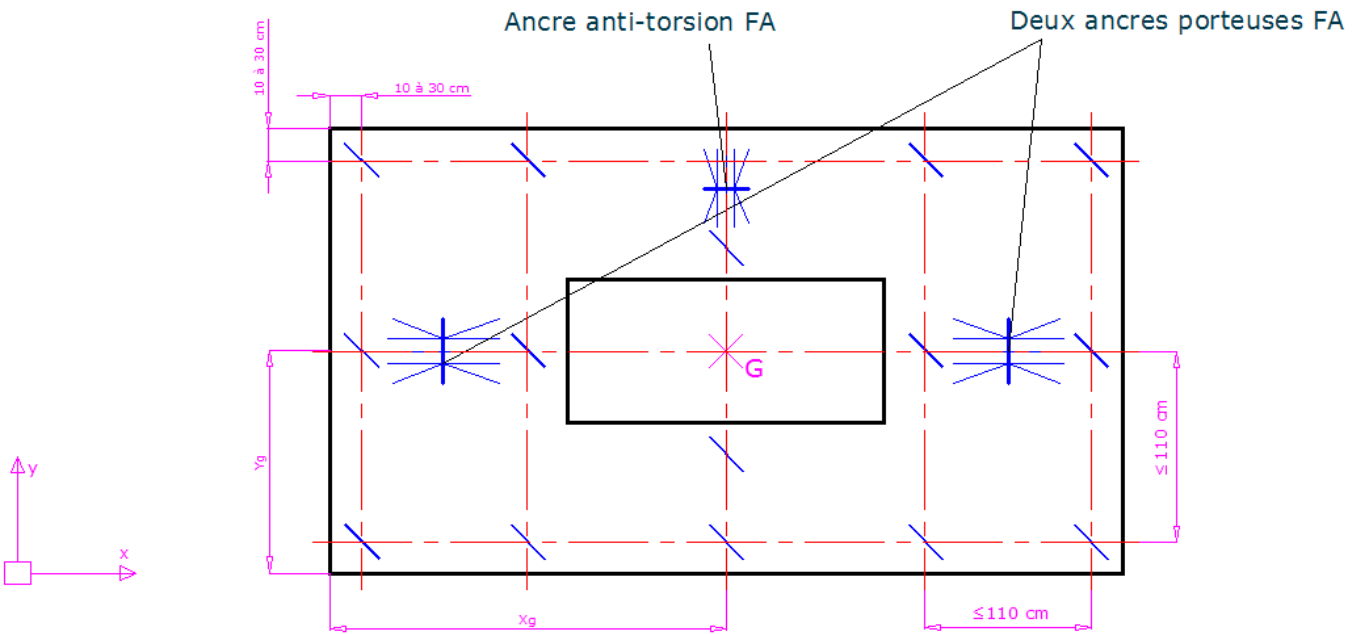


Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé uniquement dans la direction y

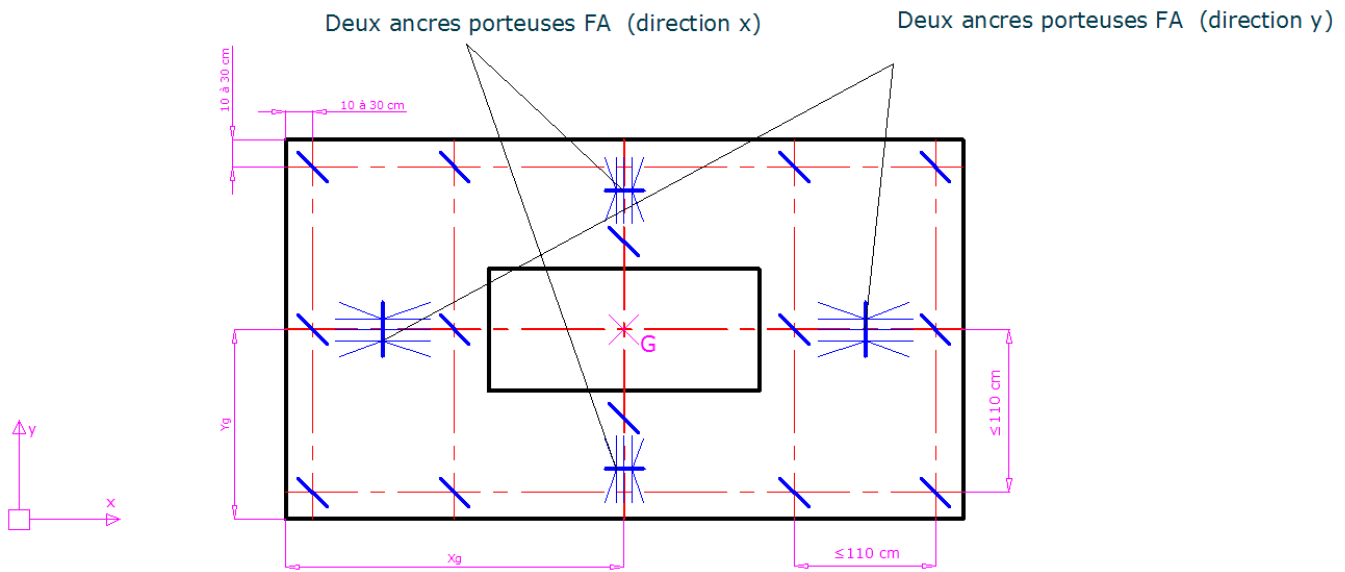


Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé dans la direction de x ou y
 Le panneau peut être retourné ou basculé
 Cette solution peut aussi convenir pertinemment en situation sismique

Panneaux avec ouverture (fenêtre) :

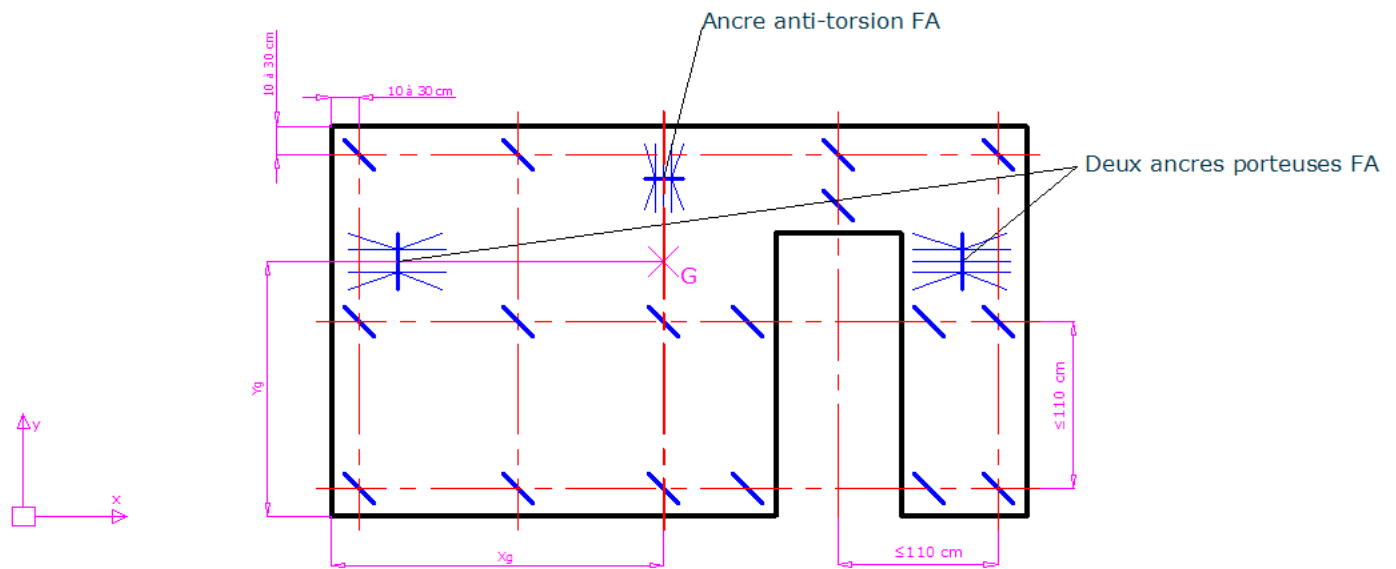


Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé uniquement dans la direction y



Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé dans la direction de x ou y
 Le panneau peut être retourné ou basculé
 Cette solution peut aussi convenir pertinemment en situation sismique

Panneau avec ouverture (porte) :



Avec cette configuration, le panneau peut être soulevé ou posé uniquement dans la direction y

Annexe XIV : Distribution de la température dans le voile structural du « Mur 2000+ COMFORT », conformément à l'Appréciation de Laboratoire AL 17-208

A) Distribution de la température dans l'épaisseur du voile structural de 14 d'épaisseur

Profondeur (cm)	Température		
	60 min	90 min	120 min
-7	886	962	1014
-6,5	771	860	921
-6	670	767	835
-5,5	581	684	756
-5	505	610	685
-4,5	438	544	621
-4	380	485	563
-3,5	330	433	510
-3	285	386	463
-2,5	247	344	420
-2	213	307	382
-1,5	183	274	347
-1	157	245	316
-0,5	139	218	288
0	126	194	262
0,5	114	173	239
1	105	155	219
1,5	97	142	200
2	89	133	183
2,5	83	125	169
3	77	118	156
3,5	72	112	147
4	68	107	140
4,5	65	104	135
5	62	101	131
5,5	60	99	127
6	58	98	125
6,5	57	97	124
7	57	97	123

B) Distribution de la température dans l'épaisseur du voile structural de 16 d'épaisseur

Profondeur (cm)	Température		
	60 min	90 min	120 min
-8	885	961	1012
-7,5	770	859	919
-7	669	766	833
-6,5	580	683	754
-6	504	608	682
-5,5	437	542	618
-5	379	483	559
-4,5	329	431	506
-4	285	384	459
-3,5	246	342	416
-3	212	304	377
-2,5	182	271	341
-2	156	241	310
-1,5	138	214	281
-1	125	189	254
-0,5	113	168	231
0	103	150	209
0,5	94	137	189
1	87	127	172
1,5	79	118	157
2	73	110	145
2,5	67	103	137
3	62	98	129
3,5	58	93	123
4	54	88	117
4,5	51	84	113
5	48	81	109
5,5	46	78	106
6	44	76	104
6,5	42	74	102
7	41	73	101
7,5	41	72	101
8	41	72	101