

Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3.2/16-884_V4**

Annule et remplace l'Avis Technique 3.2/16-884_V3

*Mur à coffrage et isolation
intégrés*

*Incorporated shuttering
wall including thermal
insulation*

Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Relevant de la norme

NF EN 14992

Titulaires : Société JOUSSELIN
Rue d'Anjou
F - 49420 CHAZE HENRY
Tél : 02 41 94 75 10
Fax : 02 41 92 54 79

Groupe Spécialisé n° 3.2

Murs et accessoires de mur

Publié le 18 mars 2021



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 des Avis Techniques a examiné le 26 Novembre 2020 le procédé de mur à coffrage et isolation intégrés « Inov'Mur⁽¹⁾ » exploité par la société JOUSSELIN. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après qui annule et remplace l'Avis Technique 3.2/16-884_V3. Cet Avis est formulé pour les utilisations en France métropolitaine.

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 en matériaux composites et suspentes en inox) 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 dilatable.

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, de dimension maximale 3,70 x 13,00 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 sont rapportées en œuvre. Les huisseries métalliques peuvent être incorporées.

Revêtements

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

1.2 Mise sur le marché

En application du règlement (UE) n° 305/2011, le produit Inov'Mur⁽¹⁾ fait l'objet d'une déclaration des performances (DdP) établie par le fabricant sur la base de la norme NF EN 14992. Les produits conformes à cette DdP sont identifiés par le marquage CE.

1.3 Identification

L'identification des composants se fait comme indiqué au §1.4 du Dossier Technique établi par le demandeur.

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 Dossier Technique.

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 1-1 §7.4.2.1). 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 en bord de mer ou exposés aux embruns salins est possible selon la définition de la classe d'exposition XS1 au sens de l'Annexe Nationale de l'Eurocode 2 moyennant le respect des exigences d'enrobages définies dans le Dossier Technique au §3.2.

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 ne sont pas visés par le présent Avis pour les ouvrages pour lesquels l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié impose des exigences de protection vis-à-vis du séisme.

L'aptitude au levage du procédé n'est pas visée dans le présent Avis.

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

2.2 Appréciation sur le procédé

2.2.1 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 NF EN 1998-1 § 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 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

Le parement en béton bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu M0.

Le procédé Inov'Mur⁽¹⁾ fait l'objet de l'appréciation de laboratoire du CERIB n° 020644. Cette appréciation de laboratoire vise les éléments Inov'Mur⁽¹⁾ d'épaisseur d'isolant comprise entre 10 et 25 cm.

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CERIB n° 020644, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe 4 du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structurelle (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé Inov'Mur⁽¹⁾. La résistance au feu de la partie structurelle est vérifiée suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurelle des murs Inov'Mur⁽¹⁾ comme homogène.

L'appréciation de laboratoire n° 020644 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 (connecteurs composites et suspentes en inox) pour suspendre la paroi extérieure à la paroi structurale. Les suspentes inox ne doivent pas être installées au-dessus des ouvertures.

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.

Vis-à-vis de la propagation du feu par les façades, l'appréciation de laboratoire n° 020644 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0. La validation de ces dispositions pour l'ensemble du domaine d'emploi revendiqué (y compris les bâtiments d'habitation classés de la 3^{ème} et 4^{ème} famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH – bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur –) a fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° 024686 délivrée par le CERIB.

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 Inov'Mur⁽¹⁾ se fait par la formule suivante :

$$U_p = \frac{1}{\frac{\lambda_i}{b_i} + \frac{b_1 + b_2 + b_n}{2} + 0,17} + 4\chi_{connecteur} + n_{suspente}\chi_{suspente}$$

Où :

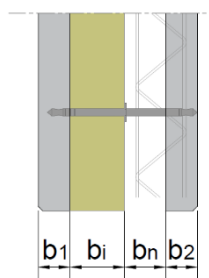
λ_i : Conductivité thermique de l'isolant, certifiée ACERMI, en W/(m.K) ;

$\chi_{connecteur}$: 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 ;

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

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

b_i, b_1, b_2, b_n : Epaisseurs des différentes couches représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



Des valeurs thermiques validées par le CSTB sont données à l'Annexe 5 du Dossier Technique.

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

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 de laine de roche sur le pourtour des baies.

Etant donné le risque d'infiltration d'eau dans l'isolant des éléments enterrés (hauteur isolée enterrée de 1 m maximum), les performances de l'isolant ne peuvent pas être prises en compte dans les calculs thermiques des éléments enterrés.

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 structurale (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.

Étanchéité des murs extérieurs

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

Risques de condensation superficielle

Etant donné 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.

Finitions-Aspect

Les finitions prévues sur 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, coiffes d'acrotères, volets roulants, etc.) ne devront pas gêner la libre dilatation du voile extérieur.

Données environnementales

Le procédé Inov'Mur⁽¹⁾ ne fait pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 aout 2015.

Pour revendiquer une performance environnementale, le procédé Inov'Mur⁽¹⁾ doit faire l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 aout 2015.

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 dans les 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 coulée 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.

2.3.1 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 Inov'Mur⁽¹⁾ peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurale (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 15 cm.
- 3- Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du Inov'Mur⁽¹⁾, la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurale du mur (paroi intérieure + noyau coulé en œuvre) correspond à :

$$f_{ck,eq28} = \min \left(f_{ck,p} - 3.10^{-4} E_{c,vn} \left(1 + \frac{3b_2 b_n}{(b_2 + b_n)^2} \right) ; f_{ck,n} \right)$$

Avec :

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

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

$E_{c,vn}$: module élastique différé du béton du noyau coulé en œuvre ;

b_2 : épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure ;

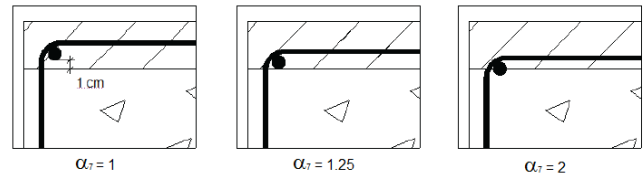
b_n : épaisseur du noyau coulé en œuvre.

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 5.121 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- 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.
- 6- 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.
- 7- 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 $\alpha_7 \cdot l_{bd}$, 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.



- 8- Le bétonnage s'effectue dans les conditions de vitesse et de hauteur de chute spécifiées au paragraphe 5.15 du Dossier Technique.

9- Dispositions parasismiques

a) 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 (suspentes et connecteurs) sont déterminés par le titulaire du procédé. Les suspentes doivent se situer dans une zone de béton frettée.

Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique et du nombre d'organes de liaisons à partir des raideurs moyennes en cisaillement des connecteurs indiquées dans le Dossier Technique. 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.

b) Liaisons entre Inov'Mur⁽¹⁾ 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 8 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.

c) Liaisons entre Inov'Mur⁽¹⁾ 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 Inov'Mur⁽¹⁾.

d) 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 l'Inov'Mur⁽¹⁾ 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 Inov'Mur⁽¹⁾ 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.

e) Exigences relatives au façonnage des armatures :

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans l'Eurocode 8.

f) Lorsque l'Eurocode 8 est utilisé comme référentiel pour les calculs de prise en compte des effets du séisme sur l'ouvrage, la classe des armatures devra être conforme aux prescriptions de l'Eurocode 8. Ceci concerne notamment les zones critiques des éléments primaires pour lesquels il ne peut être employé d'armature du type B500 A.

- 10- Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des Inov'Mur⁽¹⁾ de la réduction de section de béton au droit de ces joints.
- 11- L'épaisseur nominale du noyau doit être au moins de 8 cm afin de respecter l'épaisseur minimale de 6 cm, avec les valeurs par défaut des tolérances (paragraphe 5.13 du Dossier Technique).
- 12- Sur les faces en contact avec l'isolant, considérer un enrobage correspondant à celui de la classe d'exposition du parement exposé -5 mm, sans descendre en dessous de celui de la classe XC3.

13- 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 organe de liaison les efforts réels en fonction de la répartition retenue.

14- Les plans mentionnent la stabilité au feu pour laquelle les organes de liaison ont été dimensionnés.

15- Liaisons entre panneaux Inov'Mur⁽¹⁾ 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 8 du Dossier Technique.

16- 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.

17- Rôles des différents intervenants :

La fabrication du procédé est effectuée en usine par le titulaire de l'Avis.

La mise en œuvre du procédé est effectuée par l'entreprise titulaire du marché. Le fabricant fournira systématiquement au client une notice d'instructions pour la mise en œuvre des Inov'Mur⁽¹⁾.

Le calepinage des Inov'Mur⁽¹⁾ est effectué par les sociétés exploitant le procédé et soumis à l'approbation du BET Structures du chantier par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil. Le dimensionnement de la paroi extérieure, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé. Le calcul de l'ensemble de la structure est réalisé par le BET de l'opération qui réalise également le dimensionnement du ferrailage de la partie structurale du Inov'Mur⁽¹⁾. Le dimensionnement des panneaux Inov'Mur⁽¹⁾ (partie structurale) sera vérifié par le titulaire de l'Avis.

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

Le titulaire du procédé établit les plans d'exécution du ferrailage 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.

2.32 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 par un organisme tiers conformément au §6.22 du Dossier Technique.

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

L'isolant utilisé dans les panneaux Inov'Mur⁽¹⁾ doit faire l'objet d'une certification ACERMI, comme le prévoit le §2.5 du Dossier Technique établi par le demandeur.

2.33 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 concentrés au droit des points de levage.

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.

2.34 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 paragraphe 5.15 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 délivré par l'AFCAB ou reconnu équivalent.

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 ou la peau intérieure 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 dépoussiérées, non mouillées et traitées, si nécessaire, avec un primaire prescrit par le fournisseur de mastic.

Le relevé d'étanchéité des planchers haut extérieur (par exemple toitures-terrasses) 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 le DTU 20.12.

2.35 Contrôle et certification

Les contrôles et certifications mentionnés au §6.2 du Dossier Technique doivent permettre de garantir les caractéristiques suivantes :

- La résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées, $f_{ck,p}$;
- Épaisseur des parois, b_1 et b_2 ;
- Tolérance sur l'enrobage des armatures : +/-5 mm ;
- Ancrage des connecteurs :
 - Paroi intérieure : profondeur nominale 60 mm (minimale 50 mm) ;
 - Paroi extérieure : profondeur nominale 70 mm (minimale 50 mm).

Conclusions

Appréciation globale

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

Validité

A compte de la date de publication présente en première page et jusqu'au 30 novembre 2024

Pour le Groupe Spécialisé n°3.2
Le Président

Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

Cette version de l'Avis Technique intègre la modification suivante :

- Ajout de l'Appréciation de Laboratoire n° 024686 permettant de justifier l'utilisation du procédé dans des bâtiments d'habitation classés 3^{ème} et 4^{ème} famille et Immeuble de Moyenne Hauteur IMH (bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur) vis-à-vis de la propagation du feu par les façades.

Le procédé Inov'Mur⁽¹⁾ 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.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n°3.2

Dossier Technique

établi par le demandeur

A. Description

1. Définition et domaines d'emplois de l'Inov'Mur⁽¹⁾

1.1 Définition de l'Inov'Mur⁽¹⁾

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 connecteurs en matériaux composite et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour la réalisation de murs articulés ou encastrés.

1.2 Domaines d'emplois de l'Inov'Mur⁽¹⁾

Le procédé de mur à coffrage et isolation intégrée Inov'Mur(i) est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses en superstructure, murs coupe-feu, murs de façades, murs de refends pouvant contenir des poutres-voiles, poteaux et des poutres destinés à tous types de bâtiments : locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, stockage, agricole, ...

Les limites de hauteur en structures porteuses résultent de l'application des règles de dimensionnement définies dans le présent dossier ou suivant les réglementations en vigueur.

En situation enterrée et lorsque l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi au sens du NF DTU 20.1 P1-1 §7.4.2 (sous-sol de deuxième catégorie), l'Inov'Mur(i) pourra comporter une partie enterrée de 1 m suivant des dispositions particulières.

Les Inov'Mur(i) peuvent être employés en France métropolitaine :

- En zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) pour des bâtiments de catégorie d'importance de I à IV, moyennant les dispositions spécifiques définies dans ce Dossier Technique ;
- En région vent de 1 à 5.

1.3 Présentation générale

Les Inov'Mur⁽¹⁾ de **31 à 50 cm** d'épaisseur sont composés en partant de l'intérieur :

- D'une paroi intérieure d'épaisseur nominale au moins égale à 6 cm équipée d'une nappe d'armatures et de raidisseurs espacés de 60 cm au maximum qui assurent le monolithisme avec le noyau coulé en place,
- D'un noyau coulé en œuvre d'une épaisseur nominale au moins égale à 8 cm, ce vide pourra être équipé d'une nappe d'armature à la fabrication en fonction des sollicitations appliquées au mur,
- D'un isolant de **10 à 25 cm** d'épaisseur,
- De connecteurs en matériaux composite liant les 2 parois béton armé avec un espacement maximum de 50 cm dans les 2 directions,
- De suspentes en Inox reliant la paroi extérieure au noyau coulé en place,
- D'une paroi extérieure d'épaisseur nominale au moins égale à 7 cm équipée d'une nappe d'armature. Cette paroi extérieure est assemblée à la paroi intérieure par les connecteurs en matériaux composite.

L'épaisseur de la paroi extérieure pourra être réduite localement et ponctuellement en cas de faux joint, décaissé, ...

La paroi extérieure peut être portée par une longrine, dallage, radier, lorsque les Inov'Mur(i) ne sont pas superposés.

L'épaisseur structurelle de l'Inov'Mur(i) est égale à l'épaisseur de la paroi intérieure et du noyau coulé en place.

Cette épaisseur structurelle est au moins égale à 15 cm. Cette épaisseur structurelle peut être ramenée à 14 cm pour des constructions à 2 niveaux (R+1) et pour des murs non porteurs.

Une ou deux faces peuvent être traitées en béton de ciment gris, blanc ou coloré, avec finition lisse, matricée ou architectonique.

Pour respecter les enrobages minimums des armatures et tenir compte de la structure et des tolérances de la matrice, l'épaisseur de la paroi extérieure pourra être supérieure à 70 mm.

Les liaisons verticales entre les Inov'Mur(i) sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées aux Inov'Mur(i).

L'encastrement des Inov'Mur(i) dans les angles, dans les radiers, dans les semelles ou avec d'autres ouvrages est réalisé par des armatures intégrées aux Inov'Mur(i) ou disposées sur le chantier dans le béton coulé en place.

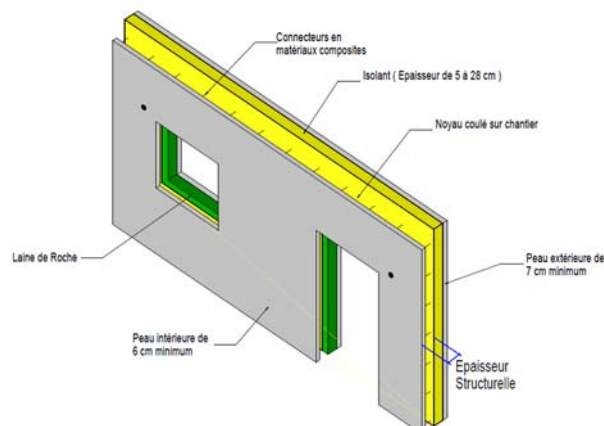


Figure 1 : Définition de l'Inov'Mur⁽¹⁾

Les Inov'Mur⁽¹⁾ peuvent être associés à divers éléments de structure : poteaux, poutres préfabriquées ou coulées en place, prédalles, dalles alvéolées, dalles coulées en place, ...

Des armatures de type poteaux, longrines, linteaux, encadrements d'ouvertures peuvent être incorporées aux Inov'Mur⁽¹⁾ ou rapportées sur chantier.

Des fenêtres pour tirage des armatures peuvent être réalisées principalement dans la paroi intérieure des Inov'Mur⁽¹⁾.

Les huisseries, menuiseries, gaines des fluides (eau, électricité, ...), boîtiers, platines, négatifs, goujons, douilles et autres équipements peuvent être incorporés aux Inov'Mur⁽¹⁾ ou rapportés sur chantier dans des réservations prévues à cet effet.

L'étanchéité des Inov'Mur⁽¹⁾ est assurée soit par un dispositif rapporté, soit par un traitement de surface, soit par lui-même par la continuité du bétonnage ou moyennant des dispositions spécifiques décrites dans le dossier technique ci-après.

Sur le plan esthétique les joints resteront apparents sur la paroi extérieure.

Dans le cas d'utilisation de prédalles suspendues en situation sismique, les exigences sont celles définies par les Règles Professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes.

1.4 Identification

Chaque Inov'Mur⁽¹⁾ est identifié par une étiquette qui mentionne :

- Le numéro et le nom de la commande,
- Le numéro du plan,
- Le numéro de l'Inov'Mur⁽¹⁾,
- Le nom de l'usine,
- L'épaisseur des 2 faces,
- L'épaisseur de l'Inov'Mur⁽¹⁾,
- Le poids de l'Inov'Mur⁽¹⁾,
- Le n° du certificat NF,
- La référence Avis Technique,
- La référence à la norme,
- ...

2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la fabrication et la mise en œuvre des « Inov'Mur⁽¹⁾ » sont :

- Le béton des parois préfabriquées,
- Le béton de remplissage,
- Les armatures intégrées aux parois et armatures complémentaires,
- Le système de levage,
- L'isolant,
- Les connecteurs en matériaux composite,
- Les aciers de suspentes inoxydables,
- Les douilles,
- Les matériaux de jointoiement et d'étanchéité,

- Les matériaux d'habillage ou de traitement intérieur ou extérieur (selon leur destination),
- Matériaux de traitement de la tête des murs,

Les caractéristiques de ces matériaux sont définies aux différents paragraphes ci-après.

2.1 Le béton des parois de l'Inov'Mur⁽¹⁾

La composition du béton des parois préfabriquées respecte les exigences définies dans les tableaux NAF.1 ou NAF.2 repris dans la norme NF EN 13369, en fonction de la classe d'exposition de l'ouvrage et de ce fait de la NF EN 206/CN.

Les classes d'exposition retenues sont celles définies dans l'annexe nationale de l'Eurocode 2.

L'utilisation dans les ouvrages en bord de mer ou exposés aux embruns salins est possible selon la définition de la classe d'exposition XS1 au sens de l'Annexe Nationale de l'Eurocode 2 moyennant le respect des exigences d'enrobages définies au §3.2 du présent dossier.

La résistance caractéristique minimale est de 40 MPa à 28 jours (classe de résistance C40/50).

Il pourra être utilisé un béton architectonique : béton de ciment gris ou blanc, coloré ou non, finition lisse, gommé, acide, désactivé ou poli, sablé, bouchardé,

La résistance du béton à la première manutention est de 20 MPa sur cubes 10 x 10 x 10 cm.

La résistance du béton, sur cubes 10 x 10 x 10 cm, des parois préfabriquées de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est au minimum de 35 MPa à la livraison.

2.2 Le béton de remplissage

Le béton de remplissage est un Béton Prêt à l'Emploi ou équivalent, conforme au projet à réaliser et à la norme NF EN 206/CN et son complément national.

Sa résistance caractéristique minimale en compression est de 25 MPa (classe de résistance C25/30) :

- Pour des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ avec un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm : micro-béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulat : $D_{max} = 12,5$ mm,
- Pour des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ avec un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm : $D_{max} = 16$ mm.

Le béton de remplissage devra afficher une valeur cible pour l'affaissement de 200 mm, portée à 220 mm lorsque les spécificités de bétonnage l'exigent (densité d'armature élevée, faible épaisseur de l'élément...). La consistance fluide sera obtenue par ajout d'un superplastifiant.

La mise en œuvre de BCP est réservée à des opérations faisant l'objet d'une concertation entre le préfabricant et l'entrepreneur afin de définir le mode d'utilisation : la composition du béton ainsi que le mode de mise en œuvre ne peuvent être généralisés à tous les ouvrages et sont soumis à l'acceptation du préfabricant.

Les bétons BCP sont déconseillés pour les zones très ferrillées.

Parmi les caractéristiques communiquées au fournisseur de BPE, il est recommandé de retenir les critères suivants :

- Valeur cible pour l'affaissement de 150 mm avec une tolérance resserrée de 20 mm ;
- D_{max} des granulats inférieur ou égal à 10 mm ;
- Rapport G/S proche de 1.

2.3 Les armatures

2.3.1 Armatures incorporées aux parois

Les armatures utilisées pour la fabrication des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, tant pour la paroi intérieure que pour la paroi extérieure, sont de classes de résistance B500A (hors exigences sismiques), B500B, B500C, B450B ou B450C et répondent aux exigences suivantes :

- Armatures en barres filantes ou façonnées intégrées aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾, conformes à la norme NF A 35-080-1,
- Panneaux de treillis soudés intégrés aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ou utilisés en acier de liaison, conformes à la norme NF A 35-080-2,
- Armatures pour organes de levage intégrées aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾, conformes à la norme NF A 35-015

2.3.2 Les raidisseurs

De façon courante les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont réalisés avec des raidisseurs, conformes à la norme EN 10080, de forme triangulaire du commerce de type CKT d'Intersig et KT de BDW qui sont fabriqués suivant des hauteurs standards, ou raidisseurs équivalents d'un autre fournisseur.

La hauteur déclarée sera avec une tolérance de +1/-3 mm conformément à la NF A 35-028.

Les raidisseurs seront 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.

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

Des formes carrées ou rectangulaires de raidisseurs sont réalisées à façon dans les usines ou sous-traitées. Les cadres sont contreventés de manière à raidir le raidisseur vis-à-vis du glissement.

Les cages d'armatures réalisées dans l'atelier d'armatures de l'usine ou sous traitées chez un armaturier 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 paroi/noyau ou en renfort au droit des ouvertures.

Le choix du raidisseur est fait en fonction des critères suivants :

- Sollicitations de cisaillement à l'interface paroi préfabriquée et noyau coulé en place,
- Épaisseur de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

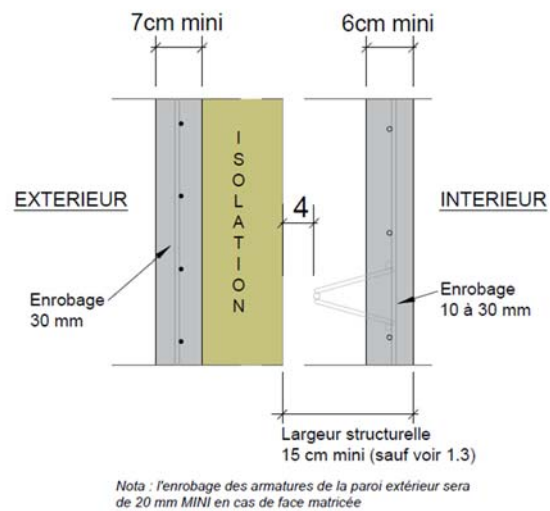


Figure 2 : Enrobage minimum des armatures

Une distance minimum de 4 cm est définie entre l'isolant et la tête du raidisseur afin de positionner les éclisses de retournement.

Cette distance sera au maximum de 5 cm quand une nappe d'armatures sera nécessaire dans le noyau des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

2.3.3 Les armatures complémentaires

Des armatures complémentaires peuvent être disposées ou ancrées en attentes dans le noyau coulé en place.

Elles peuvent être en barres filantes, en treillis soudé ou en pièces métalliques assemblées (platines, rail, ...).

Pour le calcul, sauf dans le cas où la vibration est aisée, le dimensionnement est réalisé pour les armatures dans le noyau en considérant un coefficient η_1 (selon l'article 8.4.2 de la norme NF EN 1992-1-1) égal à 0,7 pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence η_1 est égal à 1.

2.4 Le système de levage

La manutention, tant pour le démoulage que le stockage et la pose des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, est réalisée à partir de boudes de manutention en acier Fe E235 conforme à la norme NF A 35-015 assorties d'élingues à usage unique. Leur intégration en usine fait l'objet de soins particuliers.

En phase de manutention, les deux parois en béton armée sont soutenues par les inserts de levage (figure 3). Ce dispositif permet un réglage du centre de gravité lors de la mise en œuvre des produits en complément d'utilisation de palonniers spécifiques ou d'élingues à poulie permettant d'équilibrer la charge conformément à la notice de pose.

Les inserts de levage restent dans l'« Inov'Mur⁽ⁱ⁾ » en phase définitive et autorisent la libre dilatation de la paroi extérieure.

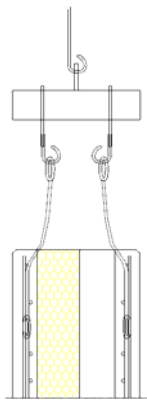


Figure 3 : Inserts de Levage

Un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ comportera, en partie supérieure, au minimum 4 inserts de levage (2 sur chaque peau).

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ de grandes dimensions, transportés sur chant auront des inserts de levages en tête pour la manutention en usine et le déchargement sur chantier, ainsi que des inserts de levage sur un chant pour la mise en œuvre sur site.

Un relevage sur chantier se fera à l'aide d'un retourneur.

Dans certains cas, en fonction des demandes des entreprises de Gros Œuvre, les élingues seront mises au droit de chaque insert de levage.

2.5 Les panneaux isolants

L'isolant utilisé se présente sous la forme de panneaux rigides découpés sur mesure avant la mise en œuvre. L'épaisseur de l'isolant peut varier de **100 à 250 mm**. Il fait l'objet d'un classement ACERMI dont les performances sont au moins I2S1O2L3.

Pour une réglementation différente ou pour des performances mécaniques inférieures, il sera nécessaire de s'assurer de la possibilité de mise en œuvre de l'isolant par des tests préalables.

L'isolant le plus couramment utilisé est un polystyrène expansé certifié ACERMI de conductivité thermique $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$, mais des polystyrènes avec des conductivités thermiques différentes peuvent être employés.

Pour des exigences thermiques supérieures, un isolant de type mousse rigide polyuréthane certifié ACERMI peut être utilisé.

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,

Suivant les Appréciations de laboratoire du CERIB n° 020644 et n° 024686 et conformément aux prescriptions de l'Instruction Technique n° 249, dans le cas d'un isolant combustible, celui-ci est protégé par l'extérieur par la peau en béton de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾. Afin de garantir la protection au feu en pied de panneau ou au pourtour des ouvertures ainsi qu'aux points singuliers (façade en débord), l'isolant est protégé par la mise en place de la laine de roche de densité 100 à 150 kg/m³, d'épaisseur :

- 50 mm minimum lorsqu'elle est protégée par une bavette métallique,
- 100 mm dans le cas contraire.

2.6 Les connecteurs

2.6.1 Description des connecteurs

Les connecteurs qui relient la paroi intérieure et extérieure sont des barres de diamètre 15,8 mm composées de fibres de matériaux composite associant :

- Des fibres de verre (*constituant l'armature*), toutes orientées parallèlement à l'axe de la barre,
- De la résine polymère isophtalique, (*constituant la matrice*)

Les principales propriétés du matériau des connecteurs sont :

- Résistance en traction : 690 MPa,
- Module d'Elasticité en Traction : 41,4 GPa,
- Résistance en flexion : 690 MPa,
- Contrainte de Cisaillement : 35 MPa,
- Résistance à la compression axiale : 414 MPa,
- Coefficient de Dilatation Thermique : $5,4 \times 10^{-6}$ par °C,
- Conductivité Thermique : 0,30 W/K.m (fibres et résine)

Les extrémités de ces barres sont usinées pour obtenir une empreinte d'accroche dite "en queue d'aronde" sur l'épaisseur enrobée dans la paroi, selon les détails à suivre (figure 4).

Une gorge est aménagée au droit de l'isolant (dans le plan de la face de l'isolant en contact avec le noyau coulé en place), afin d'y positionner une collerette servant de butée pour l'isolant.

Le diamètre effectif des connecteurs est alors de 13 mm.

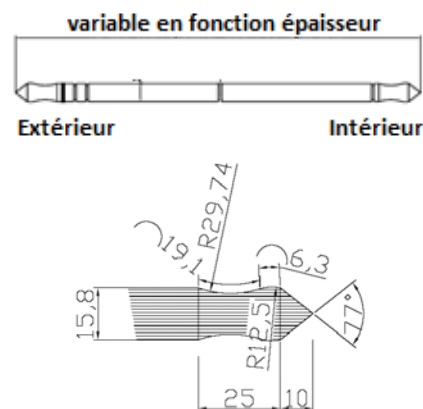


Figure 4 : Vue du connecteur - le diamètre courant de 15,8 mm et des gorges de 13 mm

Le choix du nombre de connecteurs et de leur longueur, est réalisé en fonction des critères définis à l'article 3.5.

2.6.2 Durabilité des connecteurs

Les barres pour la fabrication des connecteurs sont composées de fibre de verre de marque CEM FIL 5325.

La barre est enrobée de résine polymère isophtalique suivant un processus de pultrusion mis en œuvre par la société GDP.

La fiche technique de la fibre utilisée (CEM FIL 5325) ainsi que les certificats fournis par le fabricant, OWENS CORNING, sont à la disposition de nos clients.

Les fibres fabriquées par OWENS CORNING, dont les fibres du type CEM FIL, sont réalisées à partir de fibre de verre alcali résistante, avec en particulier un taux de zirconium compris entre 15,8 % et 19,5 %.

Le certificat du 27 octobre, transmis par GDP le 28 octobre 2011, certifie que la fibre CEM FIL 5325 a la même composition chimique que la référence ANTICRACK HP 45/24. Cette dernière étant conforme à la norme ASTM C 1666/C 1666M-07, Standard Specification for Alkali Résistant (AR) Glass Fiber for GFRC and Fiber Reinforced Concrete and Cement.

La durabilité de la fibre ANTI-CRACK HP 45/24 a été évaluée avec des résultats positifs par le CSTB (rapport EEM 10 26024393).

2.6.3 Enrobage des connecteurs

Pour la paroi extérieure, le connecteur est noyé dans le béton frais avec un enrobage de 20 mm.

Pour la paroi intérieure, le connecteur est noyé dans le béton frais, en buté sur le fond de coffrage, donc sans enrobage.

2.6.4 Fabrication des connecteurs

Les connecteurs sont usinés sur un tour à commande numérique suivant le plan défini par type d'Inov'Mur(i), à partir de barres livrées par la société GDP ou autre fournisseur produisant des barres équivalentes, en longueur de 6 ml.

Celles-ci sont coupées à longueur par une tronçonneuse à commande numérique.

La précision d'usinage de ces deux machines est de l'ordre de 1 mm.

Un contrôle, tous les jours, des connecteurs est enregistré au poste d'usinage.

La longueur théorique du connecteur correspond à l'épaisseur de l'Inov'Mur(i) réduit de 17 mm.

2.7 Suspentes en acier inoxydable

Les armatures de suspentes sont des aciers inoxydables austéno-ferritiques façonnés en S allongé (voir schéma figure 6). L'acier inoxydable est de l'UGIGRIP 4362 haute adhérence de diamètre 8 mm. Cet acier est préconisé pour le marché du bâtiment, pour des expositions dans des atmosphères maritimes ou urbaines.

La classe de résistance de ces aciers est : Fe 650. L'acier inoxydable et l'acier ordinaire, peuvent être mis en contact sans risque de corrosion par le couplage galvanique.

Autres propriétés des suspentes :

- Coefficient de dilatation linéique : 13×10^{-6} (1/K)
- Conductivité thermique : 15 W/m.K
- Module d'élasticité : 200 GPa
- Masse volumique : 7,80 kg/dm³

Ces armatures sont utilisées pour reprendre le poids propre de la paroi extérieure en phase définitive.

2.8 Les douilles

Des douilles métalliques dites à plateau ou équivalentes, principalement en M16 (voir M20 ou autres) sont scellées dans la paroi intérieure des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Exceptionnellement ces douilles peuvent être ancrées dans la paroi extérieure des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Elles assurent la stabilité en phase provisoire des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ avec les étais tirant-poussant pendant le montage, le bétonnage et dans l'attente de la reprise de stabilité du mur par une autre partie d'ouvrage.

Elles sont utilisées en combinaison avec des vis métalliques de diamètre adapté avec une longueur de 45 mm.

Les douilles sont à usage multiples (serrage-desserrage).

2.9 Les matériaux de jointoiment et d'étanchéité des Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Les matériaux de jointoiment utilisés pour la finition des murs sont :

- Mortier riche de réparation sans retrait (type SIKA ou autres),
- Mastic élastique de classement SNJF F25E + fond de joint,
- Bande autocollante bitumineuse,
- Fond de joint type bande pré-comprimée, mousse expansive en polyuréthane ou cordon néoprène pour la phase de bétonnage,
- Revêtement épais et bande étanchéité,
- Étanchéité rapportée,
- Profil couvraneuf, ...

La mise en œuvre de ces produits est réalisée conformément aux recommandations et cahiers techniques dont ils font l'objet.

Le fournisseur des produits employés justifiera leur compatibilité avec les environnements auxquels ils seront exposés.

2.10 Les matériaux d'habillage ou de traitement intérieur ou extérieur (selon leur destination)

Les parois de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont prêtes à recevoir tous types d'enduits ou peintures tels que :

- Lasure,
- Peinture (avec bouche pores préalable s'il y a lieu),
- Carrelage de parement ou pierre collée tout en respectant l'article 3.10 : Charges suspendues à la paroi extérieure,
- RPE,
- Enduit hydraulique,

2.11 Les matériaux de traitement de la tête des murs

Les têtes de murs exposées aux intempéries sont protégées contre les infiltrations d'eau le long des plans de reprise de bétonnage entre les parois et le béton coulé en place par l'un des moyens suivants :

- Un chaperon béton préfabriqué,
- Une couverture métallique,
- Un dispositif d'étanchéité capable d'absorber les variations dimensionnelles de la section exposée,

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.

Dans ce cas, les joints de fractionnement ne sont plus nécessaires.

2.12 Les matériaux de traitement des abouts de murs

Lorsque l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ constitue l'about du mur, celui-ci sera alors protégé par un élément en béton ou en tôle, qui servira de protection.

Voir en Annexe 14 : Traitement des abouts des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

2.13 Les coupleurs d'armatures

Si l'utilisation de coupleurs d'armatures est prévue, ces derniers doivent bénéficier d'un certificat délivré par l'AFCAB.

3. Conception des parois préfabriquées

3.1 Généralités

Les parois extérieures en béton armé des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont conçues de façon à être librement dilatables :

- En supprimant tout contact rigide avec un autre Inov'Mur⁽ⁱ⁾,
- En reliant la paroi extérieure à la paroi intérieure porteuse avec des connecteurs en matériaux composites,
- En veillant à ce que tous les éléments de structure qui sont reliés à la partie structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ne prennent pas appuis sur la paroi librement dilatable, et ne la mettent pas en charge, et ne bloque pas la dilatation de la paroi extérieure.

3.2 Epaisseur de la paroi extérieure

La paroi extérieure de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ possède une épaisseur nominale de 7 cm.

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

$$b_2 \geq c_{nom.ext} + c_{nom.isol} + \phi_v + \phi_h + \Delta$$

avec :

$c_{nom.ext}$: enrobage nominal de la paroi extérieure côté extérieur (en fonction de la classe d'environnement du côté extérieur de la paroi extérieure),

$c_{nom.isol}$: enrobage nominal de la paroi extérieure côté isolant (en fonction de la classe d'environnement côté isolant),

ϕ_v : diamètre des armatures verticales (v) disposées dans la paroi extérieure,

ϕ_h : diamètre des armatures horizontales (h) disposées dans la paroi extérieure,

$$\Delta = ((\Delta e^+)^2 + (\Delta b^-)^2)^{0,5}$$

Les valeurs des tolérances retenues sont les suivantes :

- $\Delta e^+ = 5$ mm, tolérance en plus sur l'enrobage des armatures de la paroi extérieure ;
- $\Delta b^- = 3$ mm, tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi extérieure préfabriquée.

Dans le cas de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ présentant un parement matricé, ou bien support d'une charge légère, il conviendra de prendre en compte pour le dimensionnement des connecteurs et des suspentes inox :

- Le poids propre de la surépaisseur de béton liée aux profils de la matrice,
- Le poids propre de la charge accrochée.

Il sera tenu compte d'une épaisseur réduite dans le cas d'une paroi matricée.

3.3 Armatures de la paroi extérieure

La paroi extérieure non structurale librement dilatable, comprend au minimum, dans les 2 sens :

- 0,20 % de la section de béton de la paroi extérieure pour la longueur concernée L ou $H \leq 6$ m,
- 0,25 % de la section de béton de la paroi extérieure pour la longueur concernée L ou $H > 6$ m.

Le diamètre de l'armature ne dépassera pas 10 mm afin de respecter les enrobages. Seule la densité de l'espacement entre les barres pourra varier afin d'atteindre la section requise par le calcul. Ces valeurs sont minimales et majorées en fonction des sollicitations provisoires ou définitives sur l'ouvrage.

L'espacement maximum des armatures dans les deux directions est inférieur ou égal à 33 cm.

Les enrobages des armatures respectent les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA, prenant en compte l'adhérence et les conditions d'environnement de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Dans le cas de parois en béton matricé ou avec faux joints ou autres finitions architectoniques conduisant à une surépaisseur de la paroi extérieure, le calcul des enrobages sera considéré sans tenir compte de l'emprise des modénatures de la matrice ou du faux joint. Cependant, pour le dimensionnement en capacité des suspentes Inox, une épaisseur moyenne est considérée pour la surépaisseur de béton.

Les essais réalisés pour un ancrage dans une paroi de 7 cm sont suffisants pour couvrir ce cas de figure car il constitue une approche sécuritaire.

3.4 Armatures de la paroi intérieure et du joint

3.4.1 Armatures de la paroi intérieure

La paroi intérieure comprend au minimum :

- 1,20 cm²/ml d'aciers verticaux,
- 1,20 cm²/ml d'aciers horizontaux.

L'espacement maximum des armatures dans les deux directions est inférieur ou égal à 33 cm.

Dans la direction parallèle aux raidisseurs, la section d'armatures des raidisseurs est prise en compte dans cette section minimale.

L'enrobage respecte les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA, prenant en compte l'adhérence et les conditions d'environnement de l'Inov'Mur⁽¹⁾.

3.42 Armatures du joint

Il y a lieu de vérifier au droit des joints qu'un ferrailage minimum conforme à l'article 9.6.2 et l'article 9.6.3 de la norme NF EN 1992-1-1, et son annexe nationale, soit mis en place.

En cas d'efforts spécifiques à reprendre au droit des joints entre Inov'Mur⁽¹⁾, les armatures de liaisons seront dimensionnées par le BET Structure du chantier ou le fabricant à partir des efforts à transmettre en s'appuyant sur les exemples de liaisons du présent dossier Technique. (Voir article 3.123 : Principe de vérification des liaisons au droit des joints).

Les armatures complémentaires à mettre en œuvre sur chantier seront à prévoir par l'entreprise de pose ou livrés par le préfabriquant si c'est défini à la commande.

3.5 Dimensionnement des connecteurs

3.51 Généralités

Dans le cadre du chantier, le maintien définitif de la paroi béton est vérifié avec les suspentes Inox et les connecteurs en matériaux composite servant d'écarteurs.

Les connecteurs sont répartis uniformément sur toute la surface suivant une maille de 50 x 50 cm (*maximum*). Disposés perpendiculairement au plan moyen du panneau, ils assurent la reprise :

- Des efforts de cisaillement du poids propre de la paroi extérieure en phase provisoire (transport, manutention) ;
- Des efforts de traction en phase de coulage du béton du noyau ;
- Des efforts de traction engendrés par la dépression du vent et des effets thermiques (gradient thermique dans la paroi extérieure) ;
- Des efforts de cisaillement engendrés par le différentiel de température entre la paroi extérieure et intérieure (dilatation/retrait de la paroi extérieure).

La paroi extérieure, avec son isolant, sert de coffrage lors du coulage du noyau, et elle constitue un parement extérieur minéral en phase définitive.

Les connecteurs servent d'écarteurs de la paroi extérieure et participent à la reprise du poids propre de la paroi librement dilatable en phase définitive.

La distance d'un connecteur par rapport au bord d'un Inov'Mur⁽¹⁾ est comprise entre 10 et 30 cm. Dans le cas d'un Inov'Mur⁽¹⁾ avec parois décalées, cette distance est considérée vis-à-vis de la paroi la plus courte. Les connecteurs sont répartis de façon uniforme pour avoir le centre des raidisseurs des connecteurs au plus proche du centre de gravité de la paroi extérieure.

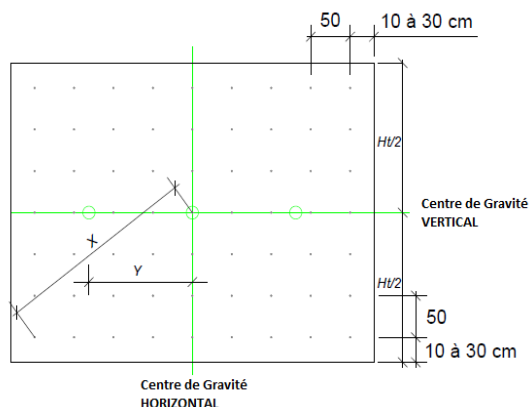


Figure 5 : Répartition des suspentes Inox et des connecteurs de l'Inov'Mur⁽¹⁾

3.52 Dimensionnement des connecteurs

3.521 Résistance à l'ELU non accidentel des connecteurs

La résistance de calcul P_{Rd} des connecteurs à l'ELU non accidentel est déduite de la résistance caractéristique P_{Rk} par la formule :

$$P_{Rd} = P_{Rk} / (\gamma_m \times \gamma_s)$$

Avec :

- γ_s : coefficient de sécurité,
 $\gamma_s = 2,00 \rightarrow$ en cisaillement pour le comportement des connecteurs en fibres de matériaux composites,
 $\gamma_s = 2,00 \rightarrow$ en traction, pour un comportement fragile.
- γ_m : coefficient sur le matériau,
 Connecteur = 1,20, à comparer à 1,15,
 Béton = 1,35 en traction pour le béton (rupture de l'ancrage béton), car il s'agit de fabrication industrielle avec une très faible incertitude géométrique.

3.522 Actions considérées

Actions à considérer sur la paroi extérieure béton :

Désignation	Nature	Actions à considérer	
		Phase provisoire	Phase définitive
Poids propre paroi extérieure	UR	X	X
Poussée béton frais au coulage	UR	X	
Effet thermique	Ponctuel		X

UR = Uniformément répartie

Actions à considérer sur les connecteurs :

Désignation	Nature	Actions à considérer	
		Phase provisoire	Phase définitive
Poussée du béton frais au coulage	Ponctuel	X	
Poids propre paroi extérieure	Ponctuel	X	X
Effet thermique	Ponctuel		X

3.523 Actions du vent

L'action du vent seul sur les connecteurs et la paroi béton extérieure, n'est pas une action dimensionnante.

Elle est négligeable devant les efforts de poussée du béton frais en phase provisoire.

3.524 Sollicitations et vérifications en phase provisoire

Les actions du béton frais sur les parois de béton sont données dans l'annexe B de la norme NF EN 14992.

Les actions correspondent à un béton de classe de consistance F3 ou F4.

Vc (m/h)	Pression (kN/m ²)	Traction dans Connecteur (kN)
0,60	27,2	4,67
0,70	28,9	5,40
0,80	30,5	6,07
0,90	32,2	6,71
1,00	33,9	7,30

Les valeurs de pression sont données pour la classe de consistance F4 selon annexe B de la NF EN 14992.

Cela permet de déterminer en fonction de la hauteur de béton frais coulé dans le noyau :

- L'effort de traction dans le connecteur le plus sollicité,
- Le moment fléchissant dans la paroi.

En ce qui concerne la capacité à l'arrachement des connecteurs, des essais ont été menés par le CRITT de Rochefort sur Mer :

- Rapport d'essais N°2876.1.B : Essais de Caractérisation Mécanique ;
- Rapport d'essais N°2988.1.B : Essais d'Arrachement sur connecteurs ;
- Rapport d'essais N°3229.1.A : Essais d'arrachement sur connecteurs ;
- Rapport d'essais N°3229.1.B : Essais d'arrachement sur connecteurs.

L'essai retenu pour caractériser les connecteurs a permis d'observer, pour un échantillon à jeune âge, une valeur caractéristique N_{rk} de 20,574 kN.

La résistance de calcul en traction des connecteurs N_{rd} retenue est $N_{rd} = N_{rk} / (\gamma_s \times \gamma_m)$ de **7,62 kN** avec : $\gamma_s = 2,00$ et $\gamma_m = 1,35$.

Dans la mesure où les hauteurs de coulés de béton pour les chantiers n'excèdent pas 0,70 m/h, pour le cas d'un béton de consistance S4, la répartition de 4 connecteurs/m² est admissible.

3.525 Justification des connecteurs sous poids propre de la paroi extérieure avant coulage du noyau

Avant coulage du noyau, les connecteurs peuvent être sollicités au cisaillement sur l'épaisseur de l'isolant et du noyau à couler en place. Cette distance maximum est de 37 cm pour un mur total de 50 cm.

On retient la résistance de calcul en cisaillement P_{Rd} pour le dimensionnement des connecteurs dans cette configuration, soit $P_{Rd} = 67$ daN.

Dans le cas le plus défavorable, la sollicitation due au poids de la paroi en béton extérieure avec une densité de connecteur de 4 U/m², soit 57 daN (43 daN × 1,35 pondération) de cisaillement par connecteur pour la paroi extérieure (maille 50 × 50 cm), est inférieure à P_{Rd} qui vaut 67 daN.

3.526 Justification des connecteurs après prise du béton du noyau

On vérifie dans cette configuration que les connecteurs sont en mesure de reprendre les actions thermiques.

Les actions thermiques à considérer sont :

- Un gradient thermique dans l'épaisseur de la paroi extérieure de 5°C
- Une variation ΔT de 50°C pour la dilatation thermique

Les suspentes sont considérées à mi-hauteur de l'Inov'Mur⁽¹⁾. Le rapport des raideurs fait que ce sont les suspentes qui reprennent le poids propre de la peau extérieure.

Les coefficients retenus sont :

- Coefficient de sécurité sur le connecteur : 2,4
- Pondération sur l'action thermique : 1,50

Il est vérifié que les sollicitations sur les connecteurs dues à la dilatation thermique de la peau extérieure sont bien inférieures à la résistance de calcul de la connexion. Une façon approchée d'estimer ces efforts est de vérifier l'inéquation suivante :

$$V_{Ed,Elu} = 1,5 \times \delta \times K_{maxi} \leq P_{Rd}$$

Avec : - δ : déplacement libre sous dilatation thermique de la peau extérieure pour le connecteur le plus éloigné du centre du panneau ;

- K_{maxi} : Rigidité du connecteur pour l'épaisseur d'isolant considéré ;
- P_{Rd} : Résistance de calcul du connecteur pour l'épaisseur d'isolant considéré.

3.527 Résistance caractéristique au cisaillement

Un modèle ROBOT intégrant les suspentes INOX et les connecteurs en matériaux composite, suivant les cas de charges signifiés plus haut, a permis de vérifier les sollicitations dans les connecteurs en matériaux composite servant d'écarteurs.

Le modèle robot a été basé sur les rapports d'essais du CRITT dans lesquels les connecteurs sont testés seuls :

- Rapport N°3013.2.B : Essais de cisaillement sur double mur isolé 2.50 x 2.50 m².
- Rapport N°3013.1.C : Essais de flexion et cisaillement sur mur double isolé.

Les valeurs de résistances issues des essais correspondent à la valeur au fragile caractéristique (calcul selon formule proposée dans l'Eurocode 0). Ces dernières sont comparées aux sollicitations pondérées, afin d'assurer le maintien de la paroi extérieure. Ces coefficients sont acceptables vis-à-vis :

- Des essais réalisés le CRITT, permettant de caractériser les connecteurs,

- De la détermination des valeurs caractéristiques selon l'annexe D de l'Eurocode 0,
- De la faible dispersion des essais : écarts types de l'ordre de 7 %.

Moins l'isolant sera épais, moins la dimension de Inov'Mur⁽¹⁾ pourra être importante, sauf à créer des joints de fractionnement dans la paroi, car la raideur en cisaillement des connecteurs ne permettra pas de reprendre certains efforts dus à la dilatation/retrait.

Les résistances caractéristiques des connecteurs sont en Annexe 2 : *Vérification des connecteurs en matériaux composite*.

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

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

Avec :

- $\alpha = 1 \times 10^{-5}$ °C⁻¹ (coefficient de dilatation thermique du béton),
- $\Delta T = 50$ °C (variation de température),
- L_{max} la distance entre deux points fixes successifs de panneaux encadrant un joint (longueur du panneau),
- 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,
- $\Delta_{fabrication}$ les tolérances de fabrication des panneaux (variables suivant les dimensions des panneaux, conformément à la norme NF EN 14992).

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 un connecteur en situation d'actions sismiques horizontales,
- K_{dyn} : raideur moyenne en cisaillement dynamique d'une ancre porteuse,
- U_j : largeur des joints (avec prise en compte des tolérances de pose et de fabrication)

L'annexe 11 détaille les vérifications des connecteurs en situation sismique.

3.6 Vérification des parois de coffrage

En ce qui concerne les parois, dans le cas le plus défavorable, le moment maximum pour 0,70 m de coulage et un béton de consistance F4 est de 1,40 kN.m/ml ELU, soit 0,282 kN.m sur 20 cm.

À titre d'exemple, les valeurs de ferrailage en flexion, correspondant, dans le cas d'un béton C40/50 avec une valeur caractéristique à 7 jours de $f_{ck,7j} = 30$ MPa et des aciers enrobés de 30 mm, sont de 0,23 cm², soit moins d'un HA 6 (0,28 cm²), donc inférieur au ferrailage minimum des Inov'Mur⁽¹⁾.

3.7 Dimensionnement des suspentes inox

Les suspentes Inox sont calculées suivant le cahier du CSTB supplément n° 246-1 de janvier 1984 : « Calcul des suspentes et épingles de liaison de la paroi extérieure librement dilatable de panneaux sandwichs, dans le cas de suspentes et d'épingles en fil d'acier inoxydable ferritique ou austénitique ».

2 suspentes en Inox MINIMUM ou plus, en fonction des efforts, sont disposées centrées horizontalement et verticalement sur le centre de gravité vertical et horizontal de la paroi extérieure de l'« Inov'Mur⁽¹⁾ », et de préférence de part et d'autre de l'axe de gravité horizontal.

Pour la détermination de la charge due au poids propre sur les suspentes dans le cas des panneaux pleins, l'hypothèse faite est que la paroi extérieure est suffisamment rigide pour distribuer ses efforts de poids propre uniformément sur chacune des suspentes.

Dans le cas de la vérification par la méthode élastique, la contrainte finale considérée dans les suspentes est comparée à la valeur caractéristique de l'acier $F_e = 650$ MPa, avec un coefficient de sécurité de 1,15 sur le matériau. Pour la justification de celles-ci, l'angle des suspentes avec la verticale est pris égal à 45° maximum dans les cas courants. Ces suspentes assurent la reprise du poids propre de la paroi

extérieure lorsque la paroi extérieure est suspendue, c'est-à-dire qu'elle ne repose pas sur la fondation, longrine, radier ou dalle.

Les suspentes en Inox sont également sollicitées par les efforts de traction et cisaillement engendrés par les efforts sismiques et le feu.

Ce procédé de liaison répartie garantit la libre dilatation de la paroi extérieure et rend possible la réalisation d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ de grandes dimensions en fonction des usines. La géométrie des suspentes varie suivant l'épaisseur du complexe, les longueurs d'ancrage restant inchangées (Figures 6 et 7 : l'angle courant est de 40° avec une tolérance de mise en œuvre + ou - 5°).

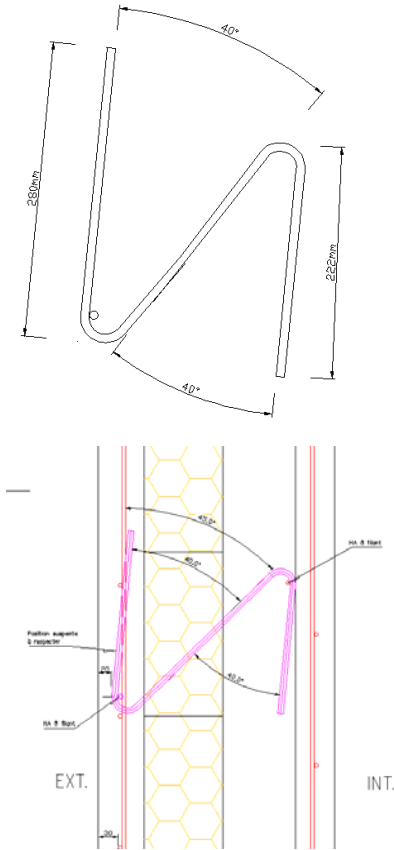


Figure 6 : Coupes sur les suspentes Inox de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾

En situation provisoire, lors de la mise en place de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ immédiatement supérieur, le poids de la paroi extérieure de ce dernier peut être appliqué sur l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ de l'étage N-1 par calage provisoire. Dans ce cas, il y a lieu de vérifier les suspentes de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾, sous le poids propre de la paroi extérieure des deux Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Voir Annexe 3 : Principe de vérification des suspentes Inox.

Epaisseur de panneau (cm)	Longueur de suspente (cm)
30	75,7
31	77,2
32	78,8
33	80,3
34	81,8
35	83,4
36	84,9
37	86,4
38	87,9
39	89,5
40	91,0
41	92,5
42	94,1
43	95,6
44	97,1
45	98,7
46	100,2
47	101,7
48	103,2
49	104,8
50	106,3

Figure 7 : Longueur des suspentes en fonction de l'épaisseur du complexe

3.8 Calepinage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Le calepinage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est conçu :

- En tenant compte des dimensions maximales des Inov'Mur⁽ⁱ⁾,
- 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 Inov'Mur⁽ⁱ⁾ avec la paroi intérieure de 6 cm et la paroi extérieure minimum de 7 cm est d'environ 335 kg/m².

Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan vertical, les joints horizontaux sont disposés à proximité immédiate des diaphragmes (dalles, poutres, couvertures contreventées, ...), sauf dispositions particulières. Dans ce cadre, les joints verticaux des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont sans incidence.

Pour les murs dont la flexion se fait dans un plan horizontal, les joints verticaux sont disposés à proximité immédiate des raidisseurs (refends, poteaux, goussets, ...), sauf dispositions particulières. Dans ce cadre, les joints horizontaux des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont sans incidence.

3.9 Dispositions pour les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ enterrés

La hauteur enterrée sera calculée par le BET Structure du chantier en fonction de la capacité de compression de l'isolant et des actions des terres.

L'utilisation de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ enterré impose la prise en compte des règles de sécurité en vigueur relatives à ce type d'ouvrage, et en particulier le guide de l'INRS : Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité (Guide INRS n° ED 6118). La partie enterrée ne pourra pas dépasser 1 m.

Les murs semi-enterrés doivent présenter un fractionnement de la paroi de parement au niveau de la transition partie enterrée/partie exposée. Ce fractionnement pourra selon le cas être prévu en usine ou réalisé sur chantier par découpage après la pose. Dans le cas de la réalisation sur chantier, le découpage pourra être repéré par une empreinte dans le béton.

La hauteur de ce découpage sera étudiée au cas par cas avec le BET Structure du chantier.

Le joint sera laissé ouvert pour évacuer les condensats.

Dans le cas où la hauteur enterrée est ≤ 1,00 m, il n'y a pas lieu de faire le fractionnement de la paroi extérieure (Figure 8a).

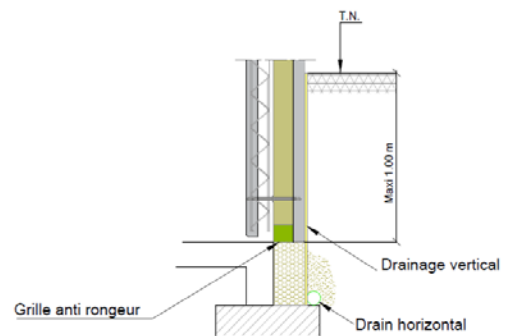


Figure 8a : Murs semi-enterrés de hauteur <= 1,00 m

En fonction des efforts à reprendre, notamment les poussées de terre, la partie enterrée recevra ou non la couche isolante permettant d'épaissir la partie structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ afin de répondre aux poussées de terre les plus pénalisantes (Figure 8b).

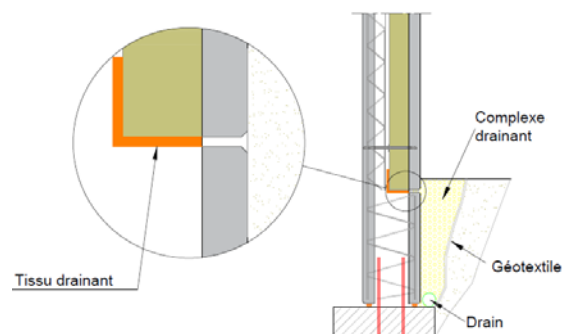


Figure 8b : Murs semi-enterrés de hauteur importante

3.10 Charges suspendues à la paroi extérieure

Les charges légères ($\leq 1 \text{ kN/m}^2$) peuvent, moyennant une étude d'un système ne bloquant pas la dilatation et le retrait de la paroi extérieure, être suspendues à la paroi extérieure. Les autres charges plus importantes (*casquettes, enseignes, ...*) seront solidarisées au noyau coulé en place par l'intermédiaire de scellement en Inox traversant l'isolant, tout en mettant en œuvre un système qui ne bloque pas la dilatation et le retrait de la paroi extérieure.

Pour les dispositifs sollicités en compression, une cale en matériaux faiblement conducteur permettra de compenser l'épaisseur de l'isolant qui ne peut être sollicité en compression.

Pour assurer la libre dilatation de la paroi extérieure, la réservation dans la paroi extérieure sera plus importante que le dispositif d'ancrage de la charge.

3.11 Chevillage

Il appartient au Maître d'Œuvre ou au BET Structure du chantier de vérifier que l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ 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 paroi/noyau sont ancrées totalement dans l'épaisseur de la partie structurelle (*noyau coulé en place + paroi intérieure*). Le chevillage dans la paroi 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 parois préfabriquées est ignorée pour le dimensionnement de la cheville non prévue lors de la conception.

3.12 Joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾

3.121 Définition de la largeur des joints

La largeur du joint théorique de 15 mm ou 20 mm, doit être déterminé à partir des deux conditions suivantes :

- D'une tolérance négative minimale de 5 mm sur la largeur nominale des joints,
- De la conformité avec la plage d'utilisation des joints utilisés dans le cadre du chantier.

La tolérance du réglage du joint entre panneaux sur chantier doit être à + ou - 5 mm, soit des joints effectifs sur chantiers de :

- Pour 15 mm théorique : minimum 10 mm et maximum 20 mm,
- Pour 20 mm théorique : minimum 15 mm et maximum 25 mm.

En cas de réalisation de panneaux de grandes dimensions, un contrôle renforcé de la largeur des joints, doit être réalisé sur chantier.

Exemple de calcul de variation de joint :

En considérant une longueur d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ de 6,00 m, l'allongement dû à la dilatation thermique sous +/- 50°C, est de 3,0 mm.

Pour un joint théorique de 15 mm, la largeur du joint varie donc entre 15-5-2 mm et 15+5+2 mm, soit entre 8 mm et 22 mm.

Pour la paroi intérieure, les joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont de 15 mm avec ou sans chanfrein, à l'exception des joints horizontaux de pose qui sont de 10 à 30 mm en fonction du type de liaison considéré.

Dans le cas d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ de grande hauteur, une attention particulière doit être apportée à la largeur de joint horizontal à ménager :

- Entre la paroi béton et le massif de fondation ou la longrine, dans le cas où il n'y a pas d'Inov'Mur(i) superposés,
- Entre 2 Inov'Mur(i) dans le cas d'Inov'Mur(i) superposés.

3.122 Isolation au droit des joints

Au droit des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾, afin de garantir la libre dilatation de la paroi extérieure ainsi que d'éviter un éventuel pont thermique, il est préférable de garder la jonction entre deux parties isolantes exemptes de béton.

4 principes d'isolation au droit des joints sont retenus pour couvrir les différentes possibilités d'utilisation des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, y compris dans le cadre de leur retournement, à savoir :

- Cas A : dépassement de l'isolant de l'Inov'Mur(i) au droit du joint,
- Cas B : Une bande d'isolant d'épaisseur correspondant à l'épaisseur du joint de pose sera collée ou fixée mécaniquement sur l'épaisseur de l'isolant. Cette bande sera mise en place à l'avancement. Sa densité sera inférieure à 15 kg/m3 afin de garantir sa compressibilité. Cette bande d'isolant sera à prévoir par l'entreprise Gros-Œuvre.
- Cas C : Pas de dépassement de l'isolant des Inov'Mur(i) et rajout sur chantier lors du montage des Inov'Mur(i) d'une isolation par bombe de polyuréthane ou équivalent, avec mise en œuvre au préalable lors du montage d'un joint Compriband entre les 2 isolant des 2 Inov'Mur(i).

- Cas D : Pas de dépassement de l'isolant des Inov'Mur(i) et mise en place seulement lors du montage d'un Compriband entre les 2 isolants des 2 Inov'Mur(i).

Les ponts thermiques seront à prendre en compte dans les calculs conformément à l'Annexe 6 : Coefficient de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaisons ψ en W/m.K.

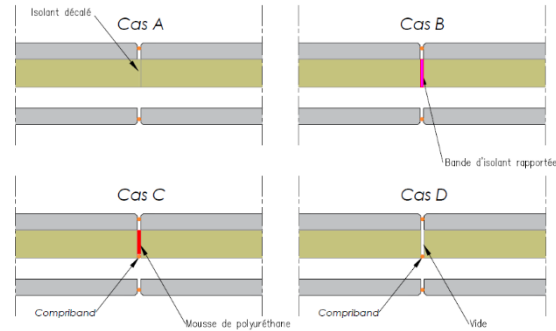


Figure 9 : Isolation au droit des joints pour l'Inov'Mur(i)

3.123 Principe de vérification des liaisons au droit des joints

Une application numérique sur la vérification des liaisons au droit des joints est présentée dans l'Annexe 8 de ce dossier technique, ainsi que le schéma des liaisons couturées et non couturées.

3.124 Généralités

Dans le cas des murs soumis à des sollicitations de cisaillement notables (*contreventement, séisme, ...*), les vérifications à mener sont les suivantes :

- Vérification de la résistance au cisaillement de la section transversale réduite au droit du joint,
- Vérification du monolithisme de l'Inov'Mur(i),
- Vérification du recouvrement des armatures de liaison avec celles intégrées dans la paroi préfabriquée,
- Vérification de la résistance au cisaillement sur le contour de liaison à l'interface entre le noyau et la paroi préfabriquée.

En situation sismique, il convient de prévoir par défaut (*sans calcul spécifique des liaisons*) les dispositions constructives que sont les liaisons couturées au droit des joints. Des exemples sont disponibles en Annexe 8. Dans les autres cas, seules les vérifications relatives au monolithisme du mur doivent être réalisées.

3.125 Vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint

La vérification de la résistance au cisaillement au droit du joint doit être menée de la façon ci-dessous.

Les exigences de l'article 6.2.2 et de l'article 6.2.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale doivent être vérifiées.

Dans le cas où l'article 6.2.3 doit être appliqué, les exigences de l'article 9.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale doivent être vérifiées.

L'effort tranchant résistant de calcul $V_{Rd,c}$ au droit du joint calculé selon l'article 6.2.2 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale est comparé à l'effort tranchant sollicitant de calcul V_{Ed} au droit du joint.

Dans le cas de voiles, la valeur à utiliser pour v_{min} est donnée dans l'annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA et est égale à :

$0,35 \times f_{ck,n}^{0,5} / \gamma_c$. Une vérification du glissement dans la section peut être également réalisée selon l'article 6.2.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

Lorsque la dernière condition de résistance au cisaillement n'est pas vérifiée, il convient de disposer des armatures de liaison en assimilant la section réduite au droit du joint à une reprise de bétonnage verticale. L'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale s'applique. La vérification au cisaillement est alors menée en considérant l'hypothèse suivante : les valeurs des deux coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface sont égales respectivement à 0,50 et à 0,90. La valeur de calcul de la contrainte de cisaillement au droit du joint est donnée par l'expression suivante :

$$V_{Rd,j} = c \times f_{ctd,n} + \mu \times \sigma_n + \rho \times f_{yd} \times (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) \leq 0,5 \times v \times f_{cd,n}$$

Avec :

- $f_{cd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en compression du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA,
- $f_{ctd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en traction du béton du noyau coulé en place, définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1991-1-1 et son annexe nationale NF EN 1991-1-1/NA,
- f_{yd} : la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé égale à f_{yk}/γ_s ,
- f_{yk} : la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé,
- γ_s : le coefficient partiel de sécurité de l'acier,
- ν : le coefficient de réduction de la résistance du béton est donné par l'expression suivante : $\nu = 0,60 * (1 - f_{ck,n} / 250)$
- σ_n : la contrainte engendrée par la force normale externe minimale à l'interface susceptible d'agir en même temps que l'effort de cisaillement,
- ρ : le ratio A_{ij}/A_j (A_{ij} étant la section d'armatures de liaison traversant l'interface et A_j l'aire du joint),
- α : l'angle d'inclinaison des armatures de liaison au droit du joint.

3.126 Vérification du recouvrement des armatures

Le recouvrement des armatures entre celles de la paroi préfabriquée de l'Inov'Mur⁽¹⁾ et celles du noyau coulé en place doit être conforme à l'article 8.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale française.

3.127 Vérification de la résistance au cisaillement sur le contour de liaison au droit du joint

Dans le cas le plus courant où des armatures de couture sont réalisées avec des U aux abouts des Inov'Mur⁽¹⁾ et que les sections d'armatures sont donc identiques sur les deux plans de couture, les efforts résistants sont déterminés sur la base de l'expression suivante :

$$V_{Rdi} = (c \times f_{ctd,n} \times 2 \times x + \mu * (\sigma_n + \rho \times f_{yd}) \times 2 \times x) \times 1$$

Avec :

- c : le coefficient de cohésion,
- μ : le coefficient de frottement,
- σ_n : la contrainte normale à l'interface résultant d'un effort de compression,
- $f_{ctd,n}$: la résistance de calcul en traction du béton du noyau coulé en place,
- f_{yd} : la limite d'élasticité de calcul de l'acier de béton armé,
- ρ : le pourcentage d'armatures A_{cout} traversant l'interface paroi préfabriquée/noyau coulé en place sur la distance x ,
- x : la distance de l'extrémité de l'armature à l'about de la paroi préfabriquée.

Les vérifications au cisaillement sont réalisées en considérant les valeurs des deux coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface correspondent au cas d'une surface de reprise de type « lisse » au sens de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1, soit c égale à 0,20 et μ égal à 0,60.

Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c , conformément à l'article 6.2.5 (5) de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

Voir l'Annexe 8 de ce dossier technique : Principe de calcul des efforts résistants aux joints entre Inov'Mur⁽¹⁾.

4. Thermique - Acoustique

4.1 Isolation thermique

L'isolant disposé entre le noyau coulé en place et la paroi extérieure détermine principalement la performance thermique et permet de supprimer les ponts thermiques.

Pour les cas A, B ou C de l'article 3.12.2, la présence des joints est négligée. La nature et la performance de l'isolant sera défini de façon à vérifier le coefficient de transmission thermique prescrit au CCTP du chantier suivant la formule suivante :

$$U_p = 1 / ((b_1 + b_2) / 2,00 + b_n / 2,00 + b_i / \lambda_i) + 0,17) + nb_c \times \chi_{connecteurs} + nb_s \times \chi_{suspentes}$$

Avec :

- λ_i : conductivité thermique de l'isolant en W / (K.m)

- $\chi_{connecteurs}$ = 0,0004 W/K, coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et calculé selon le fascicule 4/5 des « Règles Th-U » en W/K
- $\chi_{suspentes}$ = 0,10 W/K, coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'une suspente et calculé selon le fascicule 4/5 des « Règles Th-U » en W/K, sur la base de 3 suspentes pour 10 m²
- b_i, b_1, b_2, b_n : épaisseurs des différentes couches de l'Inov'Mur⁽¹⁾
- nb_c = nombre de connecteurs par m²
- nb_s = nombre de suspentes par m²

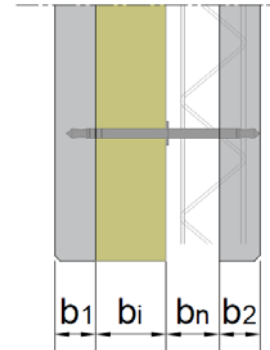


Figure 10 : Définition pour les calculs thermiques

Le calcul des éventuels coefficients de pont thermique de liaisons doit se faire selon le fascicule 5/5 des règles Th/U.

Pour le Cas D de l'article 3.12.2, il a lieu de se reporter à l'Annexe 6 : Coefficient de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaisons ψ en W/m.K.

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 en pourtour de baies ainsi qu'entre étages.

Les tableaux en annexe 5 : Caractéristiques thermiques de l'Inov'Mur⁽¹⁾ en fonction de l'épaisseur de l'isolant et 4 connecteurs /m², définissent les caractéristiques thermiques de l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec différent type d'isolant en fonction :

- De l'épaisseur de l'isolant,
- Des parois intérieures et extérieures,
- Du noyau coulé en place en tenant compte des cas A, B ou C de traitement des joints, selon l'article 3.12.2.

Néanmoins, le fabricant ou le BET Thermique du projet peuvent calculer d'autres valeurs R ou U d'un mur à base d'Inov'Mur⁽¹⁾ sur les principes définis ci-dessus.

4.2 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 en Inov'Mur⁽¹⁾ 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.

4.3 Risques de condensations superficielles

Etant donné l'isolation thermique par l'extérieur intégrée dans le procédé, les ponts thermiques les plus courants sont évités et les risques de condensation superficielle pour les Inov'Mur⁽¹⁾ sont donc très limités.

4.4 Isolation acoustique

A défaut de résultat expérimental, l'indice d'affaiblissement acoustique d'un mur peut être estimé à l'aide de l'annexe B de la norme NF EN 12354-1 appliqué à l'ensemble des parois préfabriquées et du béton coffré, considéré comme homogène de ce point de vue.

La présence de joints entre Inov'Mur⁽¹⁾ est considérée comme peu influente sur cet indice.

L'estimation de la performance acoustique des bâtiments intégrant ce type de procédé pourra aussi s'appuyer sur les normes de la série NF EN 12354 (1 à 6).

Il est considéré que la constitution des murs à base d'Inov'Mur⁽¹⁾ peut permettre d'obtenir la valeur d'isolement minimale de la réglementation fixée à 30 dB. Cependant, un point de vigilance important est à porter aux jonctions (Inov'Mur⁽¹⁾ / Inov'Mur⁽¹⁾; Inov'Mur⁽¹⁾ /fenêtre; Inov'Mur⁽¹⁾ /Porte) pour ne pas créer de fuites d'air ou de défauts d'isolement acoustique.

L'expérience montre qu'une vigilance toute particulière est à apporter à la qualité du béton (*fluidité*). Ce point est d'autant plus critique que l'épaisseur du voile coulé est faible et/ou que les granulats employés sont gros et/ou que la fluidité du béton est faible.

5. Conception de la partie structurale (paroi intérieure et noyau)

5.1 Prescriptions communes aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾

5.1.1 Généralités

A l'exception des prescriptions données dans ce dossier technique, les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé :

- NF EN 1992-1-1, Eurocode 2 : calcul des structures en béton. Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments, et son annexe nationale,
- NF EN 1992-1-1/NA.

La vérification du cisaillement à l'interface paroi/noyau est effectuée suivant l'Eurocode 2. Les liaisons doivent assurer la continuité mécanique entre :

- Les fondations et l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾
- Entre deux Inov'Mur⁽ⁱ⁾
- Entre l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et les éléments linéiques structurels préfabriqués (Poteaux et Poutres),
- Entre l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et les éléments surfaciques structurels préfabriqués (Prédalles).

Des schémas de liaisons types entre éléments sont présentés en Annexe. Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont conçus de telle sorte que chacune des parois extérieures en béton soit librement dilatables grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ou un élément de structure.

Compte tenu que la partie structurale est protégée des variations thermiques, on peut s'affranchir d'une nappe d'armature dans le noyau coulé sur chantier.

Lorsque c'est nécessaire pour la résistance du mur, le noyau rempli de béton sur chantier pourra être équipé d'une nappe d'armature lors de la fabrication de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Le dimensionnement de la partie structurale n'est en aucun cas réalisé par le Bureau d'Études du fabricant. Le BET Structures du chantier devra calculer les efforts transmis aux éléments et définir les équarrissages et sections d'armatures nécessaires à leur stabilité, ainsi que les sections d'armatures à mettre en œuvre au droit des joints.

5.1.2 Règles de dimensionnement

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾, la résistance caractéristique équivalente à la compression $f_{ck,eq}$ prise en compte pour l'épaisseur structurale du mur correspond à :

$$f_{ck,eq28} = \min \left(f_{ck,p} - 3.10^{-4} E_{c,vn} \left(1 + \frac{3b_2 b_n}{(b_2 + b_n)^2} \right) ; f_{ck,n} \right)$$

Avec :

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

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

$E_{c,vn}$: module élastique différé du béton du noyau coulé en œuvre,

b_2 : épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure,

b_n : épaisseur du noyau coulé en œuvre.

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ : poteaux, poutres, poutre-voiles, ...

Cela donne donc pour une paroi intérieure de 6 cm en C40/50 et un noyau coulé en place de C25/30 : $f_{ck,eq} = 25$ MPa.

Au niveau des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾, ou entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et un autre élément de structure (*radier, ...*), la résistance caractéristique équivalente $f_{ck,eq}$ à 28 jours prise en compte est égale à $f_{ck,n}$.

Au droit des joints horizontaux entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ou entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et les parties coulées en place, la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurale réduite de la largeur des chanfreins éventuels du mur si :

- Le joint présente une largeur nominale ≥ 3 cm, (cas 3 de la figure 11)
- La pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs, (cas 2 de la figure 11)

Dans les autres cas, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau (cas 1 de la figure 11).

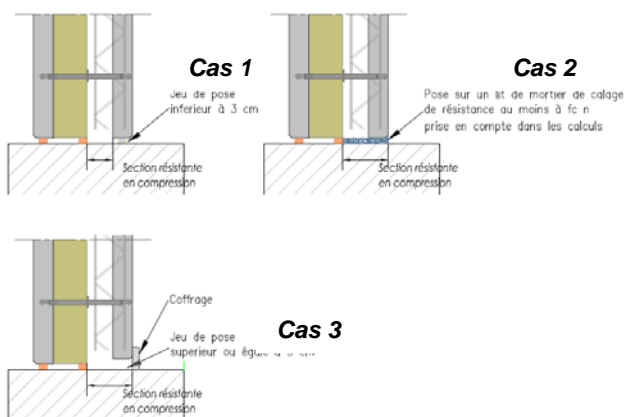


Figure 11 : Section résistante en compression en fonction du type d'appui

La section résistante en cisaillement en pied de mur 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.

L'épaisseur de la partie structurale (paroi intérieure + noyau coulé sur chantier) doit être ≥ 15 cm. Cette épaisseur structurale peut être ramenée à 14 cm pour des constructions à 2 niveaux (R+1) et pour des murs non porteurs.

5.1.2.1 Prise en compte des effets de second ordre

Le retrait différentiel du béton induit un effet bilame du fait du décalage dans le temps du coulage du béton de la paroi intérieure et du béton du noyau coulé sur chantier. Ce retrait différentiel génère une déformation du voile. Cette déformation de retrait différentiel est assimilée à un moment à chacune de ses extrémités : en tête et en pied de l'élément comprimé.

Les effets du second ordre dus au retrait différentiel du béton du noyau par rapport au béton de la paroi intérieure sur la capacité résistante de la partie structurale sont négligeables (diminution inférieure à 10 %) lorsque l'on est dans le domaine d'emploi suivant :

Épaisseur de la partie structurale	16 cm	20 cm	25 cm
Hauteur limite de l'Inov'Mur ⁽ⁱ⁾	4,00 m	5,00 m	7,00 m

En dehors de ce domaine d'emploi, la détermination de la capacité portante de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle e_{add} égale à :

$$e_{add} = 1,50 \times 10^{-4} \times E_{v,n} / EI_{eq} \times b_n \times b_2 / 16 \times H^2$$

avec :

$$EI_{eq} = (E_{v,p} / 4) \times (b_2^3 / 3 + b_2 \times b_n^2) + (E_{v,n} / 4) \times (b_n^3 / 3 + b_n \times b_2^2)$$

et H = Hauteur du mur.

5.1.3 Épaisseur de la paroi structurale et enrobages

5.1.3.1 Épaisseur minimale et maximale de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾

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_2 sur l'épaisseur de la paroi intérieure est donnée au paragraphe 5.1.3.3.

L'épaisseur nominale de la paroi extérieure doit être au minimum de 7 cm afin de garantir l'ancrage de 5 cm des connecteurs, toutes tolérances épuisées. L'épaisseur minimum nominale du noyau coulé en place est fixée à 8 cm.

La partie structurale est de 15 cm MINIMUM (paroi intérieure + noyau coulé en place). Cette épaisseur structurale peut être ramenée à 14 cm pour des constructions à 2 niveaux (R+1) et pour des murs non porteurs.

5.132 Enrobage des armatures

L'enrobage des armatures est choisi en respectant les prescriptions définies dans la section 4 de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA, prenant en compte l'adhérence et les conditions d'environnement de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾. L'enrobage des armatures structurales vis à vis de l'isolant dans le noyau coulé en place est ≥ 1 cm tout en restant conforme à l'Annexe nationale de l'Eurocode 2.

5.133 Enrobage des raidisseurs

L'enrobage des raidisseurs permet de respecter l'exigence vis-à-vis des coupures entre la paroi préfabriquée et le béton coulé en place : c_{cout_min} .

A l'interface paroi/noyau, l'enrobage minimal des armatures longitudinales d'un raidisseur est égal à $c_{cout_min} = 15$ mm.

Dans le cas où la résistance caractéristique $f_{ck,p}$ du béton de la paroi intérieure préfabriquée est supérieure à 25 MPa, la valeur de 15 mm peut être réduite.

L'enrobage minimal c_{cout_min} sera dans ce cas égal à :

$$c_{cout_min} = \max(10 \text{ mm}; \sqrt{2,10/F_{tk,p}} \times 15 \text{ mm})$$

Avec $f_{ck,p} > 40$ MPa, on retient $c_{cout_min} = 10$ mm

Les valeurs d'enrobage nominal sont déterminées à partir des valeurs d'enrobage minimales définies en tenant compte des tolérances d'exécution, soit (Figure 12) :

- Δe_2^+ : la tolérance en plus sur l'enrobage e_2 en face structurale,
 - Δe_2^- : la tolérance en moins sur l'enrobage e_2 en face structurale,
 - Δb_2^- : la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurale,
- Les valeurs de tolérances sont, par défaut, prises égales à :
- $\Delta e_2^+ = 2$ mm,
 - $\Delta b_2^- = 3$ mm,

L'épaisseur de la paroi préfabriquée structurale doit vérifier l'inégalité suivante :

$$b_2 \geq c_{cout_min} + e_2 + \phi_{t2} + \phi_{raid.inf} + \Delta_2$$

$$\text{et } \Delta_2 = \sqrt{(\Delta e_2^+)^2 + (\Delta b_2^-)^2} = 3,61 \text{ mm}$$

- b_2 : l'épaisseur nominale de la paroi intérieure structurale,
- e_2 : l'enrobage nominal en face structurale,
- c_{cout_min} : l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la paroi intérieure,
- ϕ_{t2} : le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la paroi intérieure côté noyau coulé en place, de section A_{t2}
- $\phi_{raid.inf}$ le diamètre des armatures inférieures du raidisseur, de section $A_{raid.inf}$

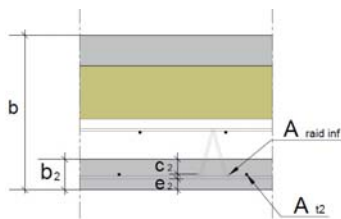


Figure 12 : Enrobages des raidisseurs

5.14 Principes constructifs

5.141 Utilisation des raidisseurs en substitution des chaînages façonnés de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Les renforcements des bords libres verticaux usuellement prévus dans les voiles pourront être réalisés dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ à l'aide des raidisseurs (Figure 13a). Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans les parois des Inov'Mur⁽ⁱ⁾. Les U de fermeture constructifs pourront être remplacés par des raidisseurs.

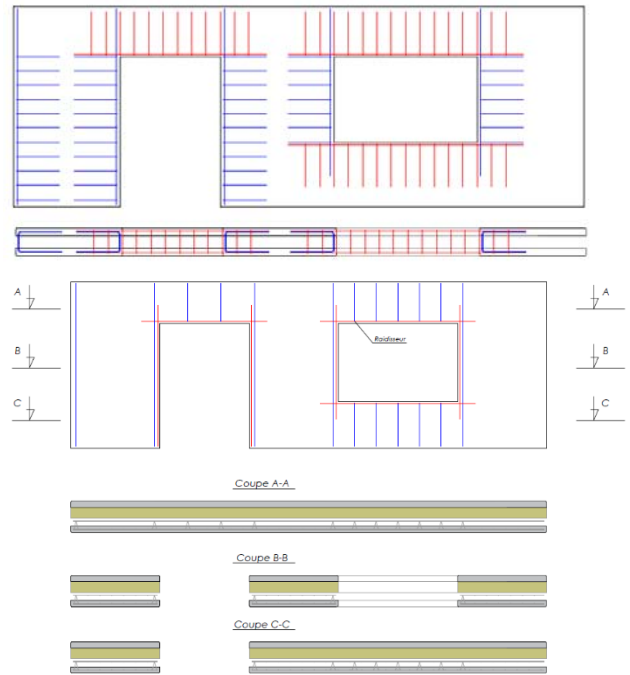


Figure 13a : Réalisation de chaînage en Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Les armatures constructives constituées de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisées dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ à l'aide de raidisseurs. Les filants sont soit intégrés en renfort dans les parois des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente. Les U, cadres, épingles et étriers constructifs peuvent être remplacés par des raidisseurs (Figure 13b).

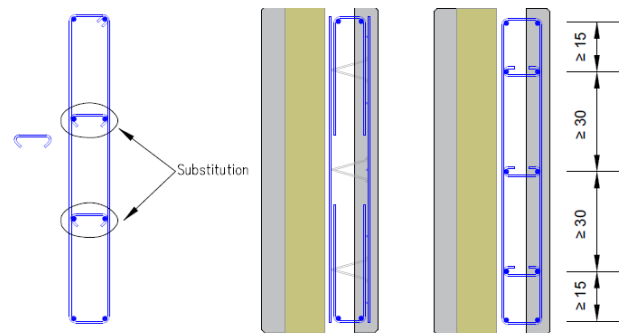


Figure 13b : Solution traditionnelle et de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾

La section d'armature équivalente par mètre linéaire $A_{s,eq}$ est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.

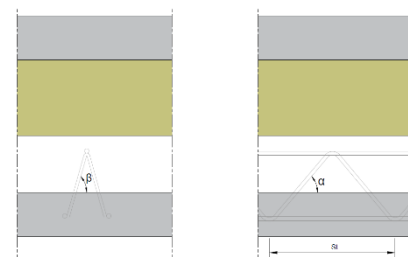


Figure 13c : Définition des raidisseurs de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾

$$A_{s,eq} = 4 \times F_s \times \sin \alpha \times \sin \beta / (st \times f_{yk})$$

Avec

- $F_s = \text{Min}(A_{raid,Di} \times R_{e,Di}; F_w)$: effort résistant au niveau du plan de cisaillement,
- f_{yk} : limite caractéristique d'élasticité de l'acier des épingle,
- $R_{e,Di}$: limite apparente d'élasticité de la diagonale du raidisseur,
- $A_{raid,Di}$: section nominale de la diagonale du treillis raidisseur,

- F_w : Résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur,
- α : angle d'inclinaison des diagonales du treillis raidisseur par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal,
- β : angle d'inclinaison des diagonales dans le plan transversal.

La substitution des coupures par des raidisseurs est réalisée suivant le tableau de correspondance ci-dessous :

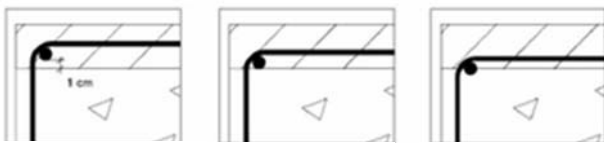
Épaisseur de la partie structurale Inov'Mur ⁽¹⁾ cm	Type de raidisseurs	Section en cm ²	Équivalent espacement armatures classiques en cm		
			Ø 6	Ø 8	Ø 10
14-15	KT 809 8-5-5	2,32	12	22	34
17	KT 811 8-5-5	2,57	11	20	30
18	KT 813 8-5-5	2,77	10	18	28
20	KT 815 8-5-5	2,91	10	17	27
22	KT 817 8-5-5	3,00	9	17	26
25	KT 820 8-5-5	3,11	9	16	25
30	KT 825 8-5-5	3,22	9	16	24

Les types de raidisseurs en fonction des épaisseurs de murs sont donnés à titre indicatif. Ils sont sujets à variation en fonction des enrobages des armatures des Inov'Mur⁽¹⁾.

5.142 Façonnage des armatures de l'Inov'Mur⁽¹⁾

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. Il y a lieu de tenir compte également de l'enrobage intérieur de l'armature dans la paroi préfabriquée via l'introduction d'un coefficient α_7 égal à :

- 1 si l'enrobage intérieur des armatures de structure est supérieur à 10 mm, le périmètre utile u_i n'est pas minoré (cas A de la figure 14),
- 1,25 si l'armature est tangente à l'interface de reprise, u_i est multiplié par 0,80 (cas B de la figure 14),
- 2 si l'armature est sécante au plan de reprise, u_i est multiplié par 0,5 (cas C de la figure 14).



Cas A Périmètre utile = u
 Cas B Périmètre utile = $0,80 \times u$
 Cas C Périmètre utile = $0,50 \times u$

Figure 14 : Enrobage et ancrage des armatures structurales

NOTE : Cette disposition revient à multiplier la longueur de scellement par un coefficient 1,25 si l'armature est tangente à l'interface de reprise et par un coefficient 2 si elle est sécante.

La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans l'Inov'Mur⁽¹⁾ vaut $\alpha_7 \times l_{bd}$, 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.

Dans le cas d'une poutre-cloison, seule la configuration (A) de la Figure 14 peut être retenue.

Pour les attentes verticales des murs et poteaux, les armatures en attente et les armatures de liaison sont disposées de manière à respecter les enrobages en fonction de l'exposition du mur. Cet enrobage C_g , de 15 ou 30 mm, est compté à partir de la face intérieure de la paroi intérieure, d'une part et de l'isolant d'autre part (Figure 15).

Pour respecter les valeurs minimales de C_g , il convient d'appliquer les prescriptions du §5.144 ci-après.

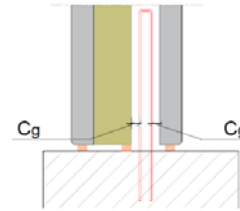


Figure 15 : Position des armatures en attente dans l'Inov'Mur⁽¹⁾

5.143 Recouvrement d'armatures

Les règles de recouvrement des armatures du noyau avec celles intégrées dans la paroi préfabriquée de l'Inov'Mur⁽¹⁾ doivent être conformes à l'article 8.7 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

5.144 Eclissage des armatures de l'Inov'Mur⁽¹⁾

Ces armatures sont généralement 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 (Figure 16) :

- Eclissage des armatures horizontales $\square\square\square$

$$\phi_{max} = (b_{n,min} - e_0 - a_{h1} - a_{h2}) / 2$$
- Eclissage des armatures verticales $\square\square\square$

$$\phi_{max} = (b_{n,min} - e_0 - a_{v1} - a_{v2}) / 2$$

Avec :

- $b_{n,min}$: l'épaisseur minimale du noyau de béton coulé en place, toutes tolérances épuisées,
- e_0 tel que :
 - $e_0 = 0$ si les armatures sont accolées,
 - $e_0 = 1,7 D_{max}$ si elles sont espacées.

Les distances nominales libres entre l'armature de liaison horizontale disposée au droit du joint et la face intérieure de la seconde paroi préfabriquée ou l'isolant sont notées a_{h1} et a_{h2} . Les distances nominales libres entre l'armature de liaison verticale disposée au droit du joint et la face intérieure de la seconde paroi préfabriquée ou l'isolant sont notées a_{v1} et a_{v2} .

En prenant en compte les variations dimensionnelles et de positionnement de l'armature, ces distances nominales sont données par les expressions suivantes :

- $a_{h1} = \max(25 \text{ mm}; 1,7 \times D_{max}) + a_{e1,min} - 15 \text{ mm}$
- $a_{h2} = \max(25 \text{ mm}; 1,7 \times D_{max}) + a_{e2,min} - 15 \text{ mm}$
- $a_{v1} = \max(25 \text{ mm}; 1,4 \times D_{max}) + a_{e1,min} - 15 \text{ mm}$
- $a_{v2} = \max(25 \text{ mm}; 1,4 \times D_{max}) + a_{e2,min} - 15 \text{ mm}$

Avec :

- $a_{e1,min}$: l'enrobage minimal de l'armature de liaison côté paroi intérieure,
- $a_{e2,min}$ l'enrobage de l'armature de liaison côté isolant, et prenant les valeurs 15 mm ou 30 mm selon la destination de l'ouvrage, les conditions de liaison.

La valeur de l'épaisseur minimale $b_{n,min}$ se déduit de l'épaisseur nominale du noyau b_n , des tolérances en plus sur l'épaisseur de la paroi Δb_2^+ et de la tolérance en moins de l'Inov'Mur⁽¹⁾, Δb_2^- suivant l'expression suivante :

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

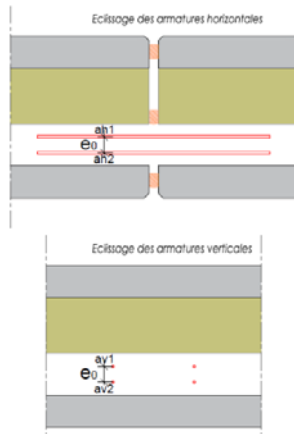


Figure 16 : Eclissage des armatures dans l'Inov'Mur⁽¹⁾

Ces dispositions permettent d'assurer, toutes tolérances épuisées, un espace de 25 mm entre les armatures d'éclissage et les parois intérieures. Les 2 armatures d'éclissage :

- Doivent être maintenues dans l'axe du noyau,
- Peuvent, dans certains cas, être remplacées par une seule de section équivalente.

En zone fléchie, 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.

5.15 Critères de bétonnage

5.151 Hauteur de chute du béton

La hauteur maximale H_{max} de chute du béton de remplissage des Inov'Mur⁽¹⁾ n'excèdera pas 3,00 m quelle que soit l'épaisseur de béton coffré, en référence à l'art. 1.3 « déversement par bennes » de la norme NF P 18-504 « mise en œuvre des bétons de structure ».

Lorsque les hauteurs d'Inov'Mur⁽¹⁾ sont supérieures à la hauteur maximale, le bétonnage doit être réalisé par introduction d'un tube souple dans le vide coffré (lorsque l'épaisseur du vide le permet) ou par une réservation pour trémie latérale respectant cette même hauteur limite (Figure 17).

La distance horizontale entre deux trémies ou entre deux positionnements successifs de tube souple ne doit pas excéder 3,80 m. Dans ce cas on doit s'assurer du bon remplissage des Inov'Mur⁽¹⁾ par l'examen des joints verticaux entre Inov'Mur⁽¹⁾, par le contrôle du volume du béton déversé ainsi que par une observation directe par les ouvertures éventuelles dans les Inov'Mur⁽¹⁾.

A défaut d'autres contrôles sur le remplissage, il sera prévu lors de la conception et fabrication des murs des orifices permettant un contrôle (diamètre de l'ordre de 50 mm) sur le côté intérieur. Le nombre et la localisation des orifices de contrôle dépendent des caractéristiques du mur :

- Dans tous les cas, un orifice sera prévu par élément, de préférence en partie basse ;
- Des orifices complémentaires seront positionnés dans les zones fortement armées.

* Trémie de coulage standard : 40x40 cm

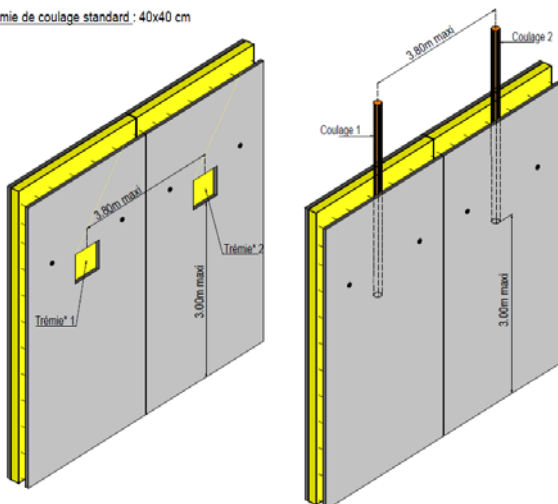


Figure 17 : Hauteur de bétonnage pour l'Inov'Mur⁽¹⁾

5.152 Vitesse de bétonnage

La vitesse de bétonnage préconisée pour l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec les connecteurs en matériaux composite selon les conditions prévues à l'annexe B informative de la norme NF EN 14992 :

- Température ≤ à 5°C : 50 cm/heure,
- Température ≥ à 10°C : 60 cm/heure,
- Température ≥ à 15°C : 70 cm/heure.

Pour les températures inférieures à 15°C, la vitesse de bétonnage peut être maintenue à condition d'utiliser un accélérateur de prise pour le béton de remplissage. Une étude spécifique d'implantation des connecteurs en tenant compte de la pression latérale exercée par le béton frais pourra permettre « éventuellement » de définir des vitesses de bétonnage plus élevées.

5.16 Principe de conception des liaisons

Ces liaisons peuvent être du type :

- Articulé : les armatures de liaison sont ajoutées uniquement dans le noyau,
- Couturé : il s'agit d'une liaison articulée à laquelle est ajoutée une armature de couture reliant la paroi préfabriquée intérieure et le noyau, en bord de chaque Inov'Mur⁽¹⁾,
- Encastrée.

5.161 Liaison articulée en pied de l'Inov'Mur⁽¹⁾

Les joints en pied sont généralement de type « articulés ». Les sollicitations doivent être équilibrées au droit des joints selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale en considérant :

- La résistance caractéristique du béton du noyau $f_{ck,n}$,
- Les armatures ancrées au-delà du joint,
- La section utile résistante aux efforts qui est celle du béton du noyau.

Dans les cas où le joint présente une largeur minimale de 3 cm ou 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 structurelle du mur (voir la figure 11).

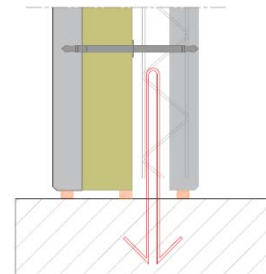


Figure 18 : principe de liaison articulée pour l'Inov'Mur⁽¹⁾

5.162 Encastrement en pied de l'Inov'Mur⁽¹⁾

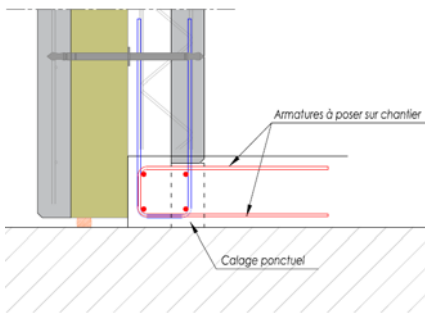
5.1621 Encastrement avec continuité de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type E)

Le principe constructif de ces liaisons consiste à intégrer les armatures d'encastrement aux Inov'Mur⁽¹⁾.

La pose de l'Inov'Mur⁽¹⁾ se fait avant ferrailage de la dalle.

Elle permet de pouvoir bétonner le noyau et la fondation sans reprise de bétonnage.

Ces liaisons sont particulièrement adaptées à la réalisation d'ouvrages soumis à pression hydrostatique.



Liaison de type **E1** : les armatures en attentes intégrées aux Inov'Mur(i) assurent la continuité de l'encastrement avec le radier ou la fondation (Figure 19a). Cette solution est limitée par l'utilisation d'armatures de diamètre inférieur ou égal à 12 mm qui doivent être dépliables.

Le moment résistant au droit de l'encastrement est identique au moment d'un mur coulé en place d'épaisseur égale. La paroi extérieure munie de l'isolant assure le coffrage du radier ou de la fondation.

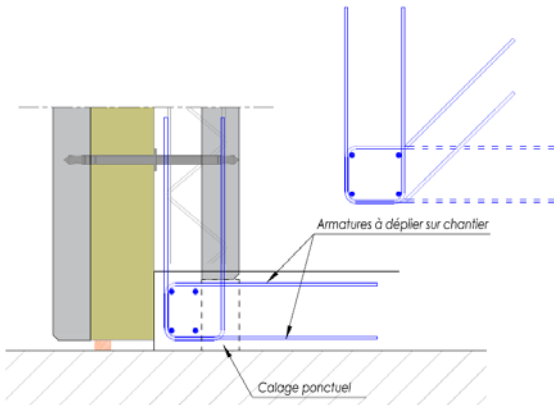


Figure 19a : Encastrement de l'Inov'Mur(i)/radier → Liaison de type E1

Liaison de type **E2** : les armatures en attentes intégrées aux Inov'Mur(i) assurent la continuité de l'encastrement avec le radier ou la fondation (Figure 19b).

La pose de l'Inov'Mur(i) se fait avant ferrailage de la dalle. Cette solution est limitée par l'utilisation d'armatures de diamètre inférieur ou égal à 12 mm qui doivent être dépliables.

Le moment résistant au droit de l'encastrement est identique au moment d'un mur coulé en place d'épaisseur égale. La paroi extérieure n'assure pas le coffrage du radier ou de la fondation.

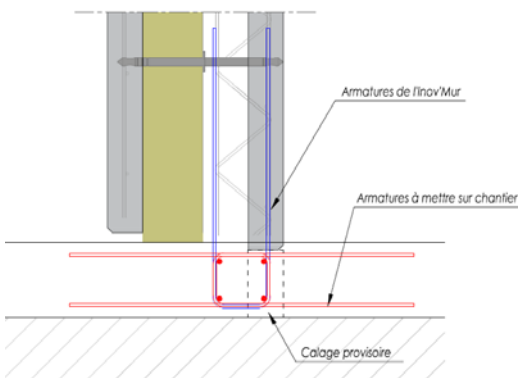


Figure 19b : Encastrement de l'Inov'Mur(i)/radier → Liaison de type E2

5.1622 Encastrement avec reprise de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type Er)

Les liaisons de type **Er** se différencient des précédentes par la présence d'une reprise de bétonnage en pied de l'Inov'Mur(i). La présence d'un radier ou d'une fondation facilite la pose et la stabilisation provisoire de l'Inov'Mur(i).

La pose de l'Inov'Mur(i) se fait après ferrailage de la dalle. L'inconvénient de la liaison **Er1** est la réduction de la hauteur utile d'encastrement due à l'épaisseur de la paroi intérieure (Figure 20).

À épaisseur égale, cette solution ne permet pas de mobiliser le même moment résistant que les liaisons de type **E**. Il convient de tenir compte de cette particularité lorsqu'un mur coulé en place est remplacé par un Inov'Mur(i).

En coffrant le pied de la paroi intérieure de l'Inov'Mur(i), la liaison **Er2** rétablira une hauteur utile équivalente aux solutions de type **E** ou coulées en place (Figure 21).

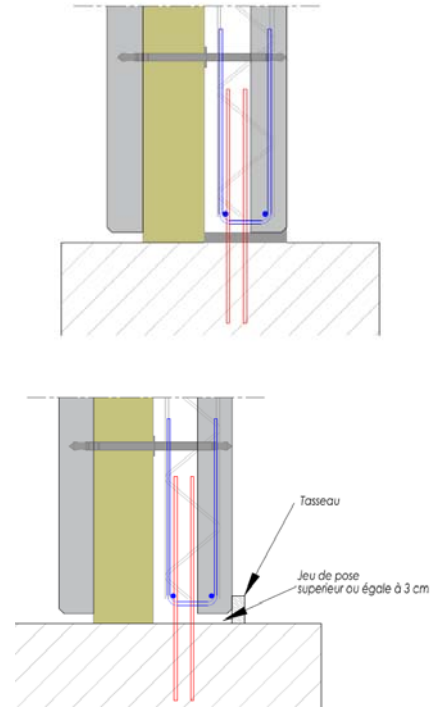


Figure 20 : Encastrement de l'Inov'Mur(i)/radier → Liaison de type Er1

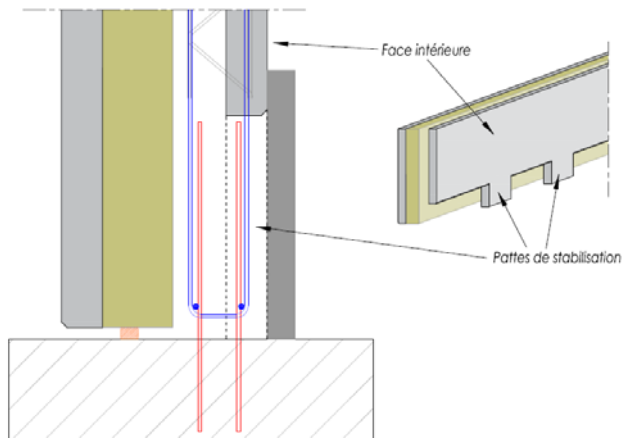


Figure 21 : Encastrement de l'Inov'Mur(i)/radier → Liaison Er2

La continuité de l'encastrement entre l'Inov'Mur(i) et la fondation est assurée par les armatures en attentes de la semelle ou du radier. Ces armatures viennent en recouvrement avec les armatures placées dans les parois de l'Inov'Mur(i).

Dans le cas où l'encastrement est réalisé par les armatures en attente disposées entre les 2 parois coffrantes (cas des liaisons de types **Er1**), on limitera la densité et les diamètres des armatures en attente dans la fondation aux valeurs ci-dessous :

Épaisseur du noyau coulé sur chantier	Armature en attente
9 cm	HA 12 e=20 cm ou HA 10 e=15
11 cm	HA 12 e=15 cm ou HA 10 e=10
14 cm	HA 14 e=12,5 cm
19 cm	HA.16 e=12,5 cm
24 cm	HA 20 e=12,5 cm
28 cm	HA 25 e=12,5 cm

Dans le cas de liaisons de type **Er**, le transfert des efforts d'encastrement de l'Inov'Mur⁽¹⁾ à la fondation nécessite un bon remplissage du joint de calage en pied et la mise en place d'un dispositif qui empêche la fuite de laitance.

L'Inov'Mur⁽¹⁾ est posé sur un lit de mortier. Le cas échéant on prévoira un joint \geq à 30 mm. Le remplissage des joints est contrôlé systématiquement après bétonnage. Les joints qui ne sont pas complètement remplis sont bourrés au mortier sans retrait.

Lorsqu'une étanchéité est requise, les liaisons de type **Er** nécessitent un traitement spécifique de la reprise de bétonnage et une vibration au droit des joints.

Liaison Er1 : l'encastrement de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sur la fondation est assuré par les armatures en attente dans le radier ou la semelle. Le dimensionnement des armatures est déterminé en tenant compte d'une hauteur utile égale à l'épaisseur totale de l'Inov'Mur⁽¹⁾ réduite de 7 à 8 cm en fonction des diamètres des armatures (Figure 20).

Liaison Er2 : la liaison Er2 permet de préserver une hauteur utile d'encastrement optimale. Elle est particulièrement adaptée aux murs encastrés de grande hauteur. Elle nécessite le coffrage du pied sur la hauteur de scellement des armatures (Figure 21).

Liaison Er3 : cette liaison se distingue des précédentes par la mise en œuvre d'un gousset qui permet d'augmenter le moment résistant.

Le gousset est coffré après la pose de l'Inov'Mur⁽¹⁾.

5.163 Liaisons de l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec une dalle

5.1631 Liaisons courantes rotulées

La liaison (Figure 22), est une disposition courante où l'armature haute de la dalle équilibre un moment correspondant à 0,15 Mo (Mo moment isostatique en travée de la dalle). C'est le cas des planchers en prédalles B.A. ou B.P., dalles alvéolées et dalles coulées en place.

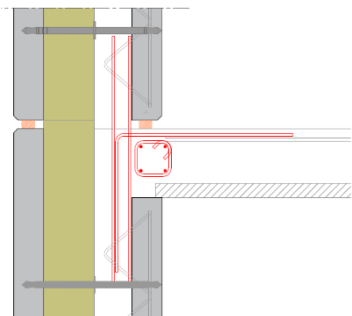


Figure 22 : Liaison rotulée de l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec une dalle

Pour la liaison (Figure 23), la dalle coulée en place ou avec prédalle est suspendue à l'aide d'armatures en attente dans la paroi intérieure. Ce cas ne peut être employé, à ce jour, lorsque l'Eurocode 8 est utilisé comme référentiel pour les calculs de prise en compte des effets du séisme sur l'ouvrage.

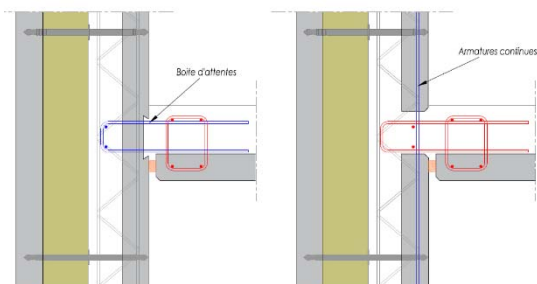


Figure 23 : Liaison rotulée de l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec une dalle suspendue (hors exigence de vérification sismique)

5.1632 Liaisons encastrées

Les armatures intégrées en tête des Inov'Mur⁽¹⁾ permettent de mobiliser un moment d'encastrement. Pour les appuis de rive, lorsque des liaisons efficaces établies entre les planchers et les éléments porteurs verticaux (murs armés) permettent de justifier un encastrement partiel, le moment correspondant peut être pris en compte dans les vérifications sans dépasser toutefois 0,50 Mo. (Figure 24) (C'est le cas des planchers en prédalles B.A. ou B.P. ou de dalles coulées en place).

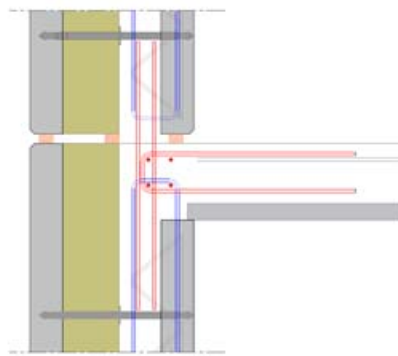


Figure 24 : Liaison dalle/ Inov'Mur⁽¹⁾ encastrée

5.164 Liaisons articulées entre Inov'Mur⁽¹⁾

5.1641 Joint vertical droit, d'angle droit et en T

L'armature de couture disposée dans le noyau coulé en place permet de transmettre les efforts de cisaillement d'un voile à un autre. La section des armatures de liaison correspond à la section des armatures horizontales des Inov'Mur⁽¹⁾ conformément au plan du BET Structures du chantier.

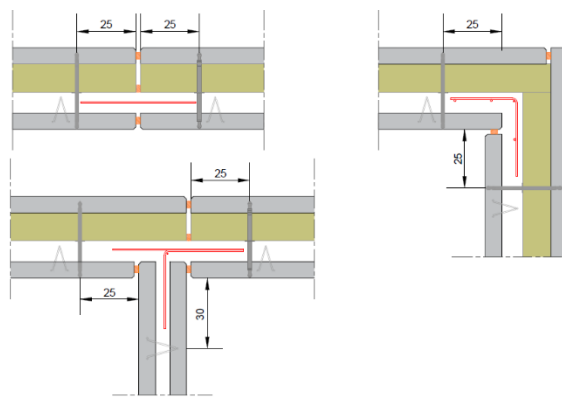


Figure 25 : Liaison verticales articulées

5.1642 Cas particulier du joint vertical en T entre un Inov'Mur⁽¹⁾ et un voile de refend coulé en place.

Ce système est adapté aux liaisons entre un voile de refend banché et des Inov'Mur⁽¹⁾ lorsque l'on a besoin de réaliser une couture constructive et qu'il n'y a pas d'effort particulier à transmettre.

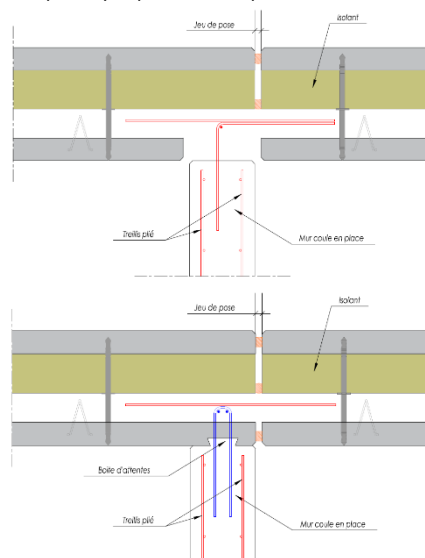


Figure 26 : Liaison en T entre un Inov'Mur⁽¹⁾ et un mur coulé en place.

D'autres types de liaisons entre un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et un voile banché sont possibles.

5.1643 Joint horizontal droit

Les armatures de liaison sont disposées dans le noyau inférieur avant le bétonnage de ce dernier ou piquées dans le béton frais. La section des armatures en attente correspond à la section d'armatures verticales des murs Inov'Mur⁽ⁱ⁾ conformément au plan du BET Structure du chantier.

5.165 Liaisons articulées couturées entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾

5.1651 Joint vertical droit (Type C1)

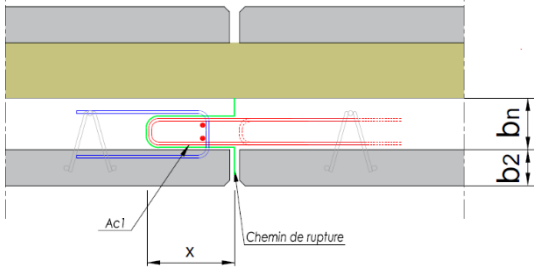


Figure 27 : Liaison verticale couturée droite - Type C1

Ce type de liaison est particulièrement adapté aux liaisons des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ soumis à pression hydrostatique sur la paroi intérieure (*bassin*) lorsque l'étanchéité est assurée par le béton seul et que la liaison en pied est de type Er.

La présence d'armatures de couture en about de mur permet de réaliser une couture optimale avec le panier de liaison et un bon transfert du cisaillement d'un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ à l'autre. Les armatures de coutures sont TOUJOURS posées avant la pose de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ suivant.

Le déplacement horizontal de la cage d'armature est facilité par la présence d'une fenêtre de tirage disposée à environ 60 cm du pied de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

5.1652 Joint d'angle droit vertical (Type C2)

La solution de type C2 est basée sur le même principe que la solution de type C1. On peut utiliser l'armature de couture pour réaliser un poteau ou un chaînage sismique. Le chaînage sismique sera situé à l'intersection des axes ou dans l'un des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ qui forment l'intersection. Dans ce cas, on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 8 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

5.1653 Joint d'angle vertical en T (Type C3)

La solution de type C3 est basée sur le même principe que la solution de type C1. On peut utiliser l'armature de couture pour réaliser un poteau ou un chaînage sismique. Le chaînage sismique sera situé à l'intersection des trois axes ou dans l'un des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ qui forment l'intersection. Dans ce cas, on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 8 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

5.166 Liaisons encastrées entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾

5.1661 Joint vertical droit

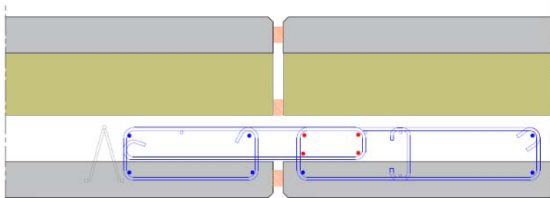


Figure 28 : Joint vertical encastré - Type de type Ev1

Le décalage entre les deux parois sera fonction de la section d'armature à recouvrir. Il permet de conserver une hauteur utile de flexion qui doit être validée par le BET Structure du chantier, pour permettre la transmission du moment fléchissant.

La liaison Ev1 ne peut pas être mise en œuvre dans le cas d'une liaison en pied avec armatures en attente. Elle est réservée aux liaisons encastrées de type E.

La liaison Ev2 est une variante de la liaison Ev1, qui est réservée aux sollicitations importantes ou lorsque la liaison en pied avec attentes

ne permet pas un déplacement latéral de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ concomitant au déplacement vertical de la pose.

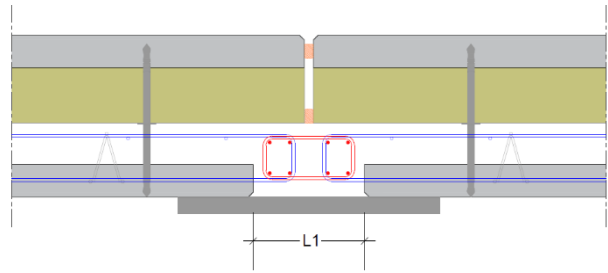


Figure 29 : Joint vertical encastré - Type Ev2

5.1662 Joint d'angle droit vertical

Le principe constructif est le même que pour les joints verticaux droits. La solution Ev3 permet de mobiliser un bras de levier optimal.

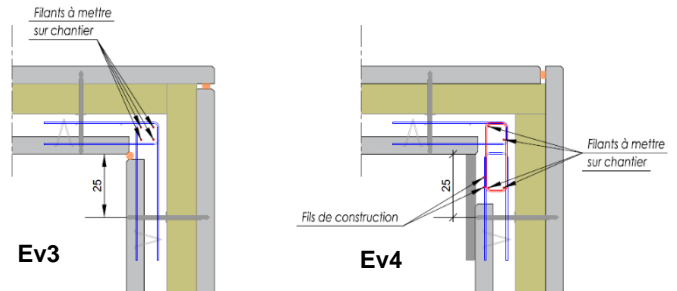


Figure 30 : Liaisons d'angle encastrées - Type Ev3 (à gauche) et Ev4 (à droite)

La liaison Ev4 garantit l'encastrement par la mise en place d'armatures de coutures dans le noyau. Cette liaison, qui permet de résister à des sollicitations importantes, nécessite néanmoins un coffrage de l'angle intérieur ou extérieur.

5.1663 Joint d'angle vertical en T

La liaison de type Ev5 permet de reprendre un moment de flexion. La mise en œuvre de cette liaison dépendra des sollicitations et des contraintes de chantier. Ces liaisons ne sont possibles qu'associées avec une liaison en pied de type E.

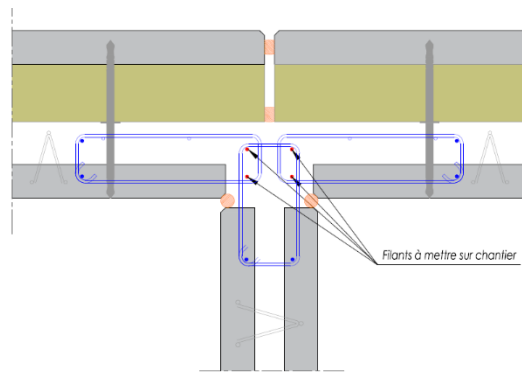


Figure 31 : Liaison verticale en T encastrée - Type Ev5

5.1664 Joint vertical biais

Le principe constructif de la solution est fonction de l'angle entre les deux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ :

- Pour un angle supérieur à 135°, le ferrailage de l'angle peut être intégré dans l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ selon la même méthode que la solution pour le joint droit ;
- Pour les angles inférieurs à 135°, l'armature sera rapportée dans la partie coulée en place.

Pour de fortes sollicitations, une variante basée sur l'ouverture du joint permet de préserver un bras de levier optimal.

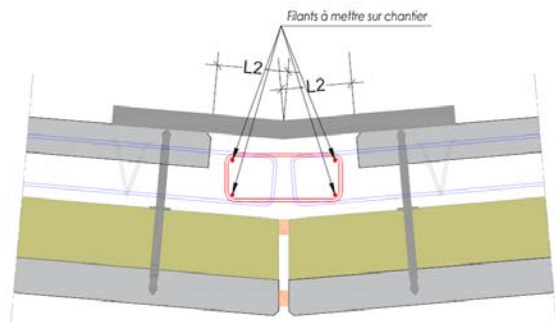


Figure 32 : Liaison verticale d'angle encastrée

5.1665 Joint horizontal droit

Trois systèmes constructifs permettent de réaliser un encastrement horizontal entre deux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ :

- La liaison **Eh1** : La continuité est assurée par les armatures en attente posées lors du bétonnage de l'Inov'Mur(i) inférieur.

La réduction de la hauteur utile d'encastrement due à l'épaisseur de la paroi engendre une réduction du moment résistant.

- La liaison **Eh2** : La transmission du moment de flexion et du cisaillement d'un mur Inov'Mur(i) à l'autre est assurée par le croisement et le clavetage des cages d'armatures intégrées aux Inov'Mur(i).

Le décalage entre les deux parois sera fonction de la section d'armature à recouvrir. Il permet de conserver une hauteur utile de flexion suffisante pour permettre la transmission du moment fléchissant. Cette solution ne convient pas pour tous les cas de figures compte tenu de la difficulté à mettre les armatures filantes en œuvre.

- La liaison **Eh3** : Cette solution nécessite un coffrage de la liaison sur la face intérieure. Elle présente l'avantage d'être simple à mettre en œuvre et la possibilité de mobiliser un moment résistant important.

La liaison retenue dépendra des sollicitations à reprendre et des contraintes de chantier.

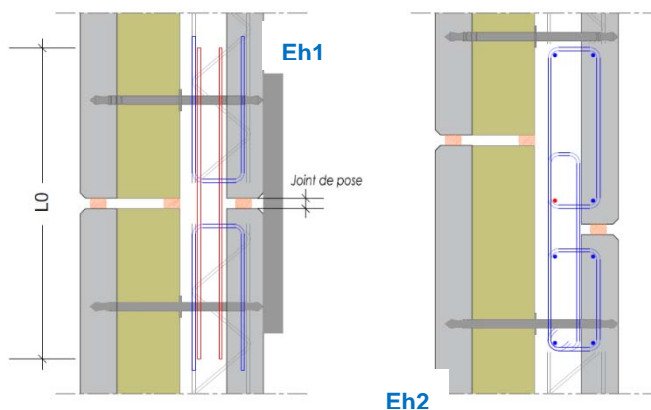


Figure 33 : Liaisons horizontales encastrées

5.17 Dispositions parasismiques

5.171 Principe général

L'étude des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sous les actions sismiques relève de la norme NF EN 1998-1 et de son annexe nationale. Conformément au décret du 22/10/2010, les bâtiments sont répartis en catégories d'importance (I, II, III et IV) auxquels correspondent différents coefficients d'importance (article 2.1 (3) de l'EN 1998-1 et son annexe nationale) différenciant ainsi la fiabilité de la structure. De plus, la zone sismique du bâtiment doit être prise en compte (article 3.2.1 de la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale).

Les exigences varient en fonction de la zone de sismicité et de la catégorie d'importance du bâtiment.

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.

Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments sismiques primaires, c'est-à-dire les murs faisant partie du système structural résistant aux actions sismiques, modélisés dans l'analyse pour la situation sismique de calcul et entièrement conçus et étudiés en détail pour assurer la résistance aux séismes conformément aux règles de la NF EN 1998-1 et de son annexe nationale.

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et le respect des critères de ductilité sont réalisés sur l'hypothèse d'une section homogène équivalente au mur banché substitué.

Pour les murs considérés comme éléments secondaires, qui ne sont pas considérés comme faisant partie du système résistant aux actions sismiques et dont la résistance et la rigidité vis-à-vis des actions sismiques sont négligées, les liaisons entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont similaires aux liaisons préconisées en dehors des zones sismiques.

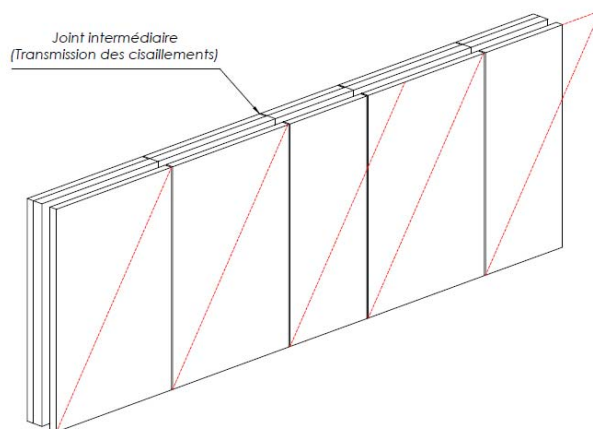


Figure 34 : Comportement monolithique des Inov'Mur(i)

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

5.172 Principe de vérifications sous sollicitations sismiques

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est réalisée sur l'hypothèse d'une section homogène équivalente au mur banché substitué. De plus, en référence à l'article 5.11.1.4 de l'EN 1998-1, qui concerne l'utilisation d'éléments préfabriqués pour la résistance au séisme, il convient de prendre le coefficient $k_p = 1$.

La paroi extérieure est considérée comme non structurale au sens de l'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.

5.173 Stabilité locale

Afin de s'assurer de la stabilité d'ensemble d'un voile réalisé en Inov'Mur⁽ⁱ⁾, on s'attachera à vérifier que ce dernier présente une rigidité suffisante dans le sens perpendiculaire aux joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

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.

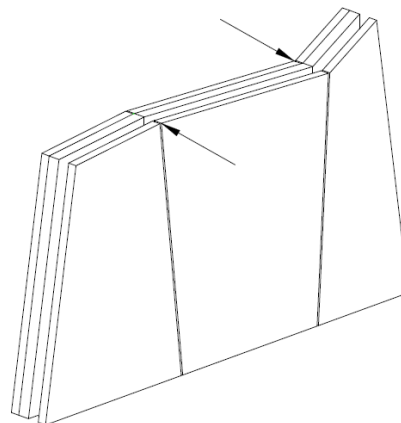


Figure 35 : Stabilité d'ensemble

A défaut de justifications par le calcul, les Inov'Mur(i) peuvent être assimilés 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.

5.174 Liaisons entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ en zone courante

A défaut de calcul spécifique des liaisons :

- Les liaisons horizontales sont proscrites,
- Pour les liaisons verticales, il y a lieu de réaliser des poteaux au droit des joints, dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des treillis raidisseurs de rive.

La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport épaisseur totale / épaisseur totale diminuée d'une épaisseur de paroi préfabriquée, soit $(b/(b - b_{p2}))$.

Les poteaux doivent comporter au moins une face accessible avant bétonnage et visible après décoffrage.

La section des filants verticaux par mètre linéaire d'ouverture est au moins égale au tiers de la section par mètre linéaire des armatures horizontales du voile préfabriqué.

Dans le cas de justifications des liaisons par le calcul, l'effort tranchant sollicitant de calcul, communiqué par le BET Structure du chantier, doit être comparé aux efforts tranchants résistants de calcul mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié. Cette vérification a pour objet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié, permettant de reproduire le monolithisme du mur.

Voir Annexe 8 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

5.175 Liaisons entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾ au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non-glissement du mur en Inov'Mur(i) par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, l'article 5.4.3.5.2 (4) de la norme NF EN 1998-1 et son annexe nationale doit être vérifié sur la base du noyau de l'Inov'Mur(i).

Dans le cas d'utilisation de prédalles suspendues en situation sismique, les exigences sont celles définies par les Règles Professionnelles pour les planchers à prédalles suspendues avec boîtes d'attentes.

5.176 Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ 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 de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et des contraintes de mise en œuvre.

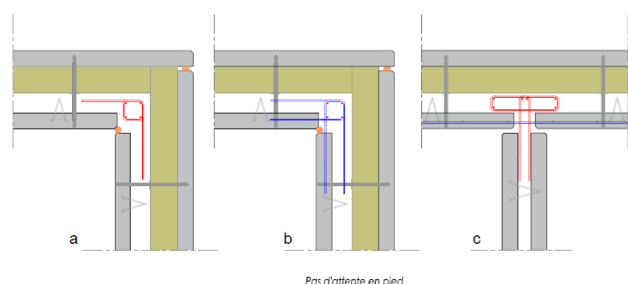


Figure 36 : Liaison d'angle en zone sismique avec chaînage (a), couturée (b) et liaison en T (c)

Les dispositions minimales de la NF EN 1998-1 et son annexe nationale française NF EN 1998-1/NA doivent être respectées, notamment l'utilisation d'armatures de types B ou C (article 5.3.2 de la NF EN 1998-1) ou d'armatures de type A (pour les utilisations prévues dans l'annexe nationale NF EN 1998-1/NA telles que les aciers de montage, les aciers de peau ou les treillis de surface).

Les aciers de type A ne sont pas pris en compte dans les calculs.

5.177 Les chaînages

Les dispositions relatives aux chaînages horizontaux et verticaux des murs principaux ou primaires, y compris leurs fondations, sont précisées dans la norme NF EN 1998-1 article 5.4.3.5.3 (4) et son Annexe Nationale NF EN 1998-1/NA.

Remarque : Les dispositions de ferrailage minimales en zones sismiques peuvent conduire à des encombrements incompatibles avec

les plus faibles épaisseurs de noyau des Inov'Mur⁽ⁱ⁾. Une augmentation de l'épaisseur totale des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ peut alors être nécessaire.

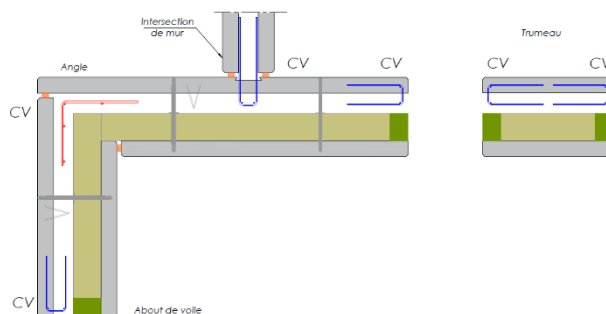


Figure 37 : Implantations des chaînages verticaux

5.178 Exigences relatives aux 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 et son annexe nationale.

5.179 Vérification des organes de liaisons sous sollicitation sismique

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 Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Le dimensionnement des connecteurs vis-à-vis des actions du séisme a fait l'objet d'une étude qui permet aux détenteurs du procédé de déterminer, en fonction de l'accélération sismique à prendre en compte et de la dimension des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾, le nombre de connecteurs nécessaires et leurs positions.

La peau extérieure librement dilatable est un élément secondaire sismique. Le dimensionnement est effectué suivant l'EC8, article sur les éléments secondaires.

Voir annexe 11 : Vérification des organes de liaisons sous sollicitation sismique.

5.18 Stabilité au Feu

5.181 Généralités

La justification au feu des murs Inov'Mur⁽ⁱ⁾ a fait l'objet de l'Appréciation de Laboratoire du CERIB n° 020644. 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 de suspentes en Inox et de connecteurs en matériaux composites pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale :

- Pour une hauteur maximale de 13 m,
- Pour des épaisseurs d'isolant de 10 à 25 cm et une partie structurale de 15 cm minimum.

5.182 Justification de la stabilité au feu de la paroi structurale

Suivant l'Appréciation de laboratoire du CERIB n° 020644, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurale des murs Inov'Mur⁽ⁱ⁾, partie structurale 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.

5.183 Justification de la tenue de la peau extérieure

La paroi extérieure librement dilatable de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est reliée à la partie structurale par les connecteurs en matériaux composites et par des suspentes en Inox qui ont pour but de reprendre le poids de la paroi extérieure.

La tenue du voile librement dilatable en situation d'incendie fait également l'objet de l'Appréciation de laboratoire du CERIB n° 020644 afin de s'assurer que la capacité résiduelle des suspentes Inox et des connecteurs 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 suspentes Inox pour reprendre le poids propre de la paroi extérieure (en tenant compte des différentes configurations d'épaisseurs de la paroi structurale, de la paroi extérieure et de l'isolant).

- Vérification de la capacité résistante résiduelle à chaud des connecteurs en matériaux composites vis-à-vis de la dilatation différentielle entre les deux parois en béton et de l'effort normal du au vent (en tenant compte des différentes configurations d'épaisseurs de la paroi structurale, de la paroi extérieure 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 connecteurs en matériaux composites sont rompus. Le ferrailage de la paroi extérieure devra être vérifié au cas par cas à partir des données de l'appréciation de laboratoire n° 020644.

5.184 Inov'Mur⁽¹⁾ non porteur

Lorsque la résistance au feu est exigée pour satisfaire les critères d'Isolation thermique I et d'Etanchéité E, l'épaisseur de la partie structurale de l'Inov'Mur⁽¹⁾ doit être au minimum égale à :

- 30 mn : 6 cm,
- 60 mn : 8 cm,
- 90 mn : 10 cm,
- 120 mn : 12 cm.

Selon : Eurocode 2-1-2 §5.4.1, Tableau 5.3 : Epaisseur minimale des voiles non porteurs.

5.185 Performance au feu des Inov'Mur⁽¹⁾

L'épaisseur de la paroi structurale b_{struct} , en fonction de la hauteur exposée H_e du mur et de l'épaisseur d'isolant e_i nécessaire pour justifier la bonne tenue de la paroi extérieure librement dilatable, est donnée dans les trois tableaux ci-dessous, correspondant à 60, 90 et 120 min d'exposition au feu :

60 min	Epaisseur e_i d'isolant (cm)						
Hauteur d'exposition au feu H_e (m)	8	10	12	16	20	24	28
4	16	15	15	15	15	15	15
6	22	15	15	15	15	15	15
8	26	18	15	15	15	15	15
10	27	19	15	15	15	15	15
11	30	22	16	15	15	15	15
12	33	25	19	15	15	15	15
13	35	27	21	16	15	15	15

90 min	Epaisseur e_i d'isolant (cm)						
Hauteur d'exposition au feu H_e (m)	8	10	12	16	20	24	28
4	19	15	15	15	15	15	15
6	26	18	15	15	15	15	15
8	30	21	15	15	15	15	15
10	31	22	15	15	15	15	15
11	35	26	19	15	15	15	15
12	x	29	22	17	15	15	15
13	x	31	24	19	16	15	15

120 min	Epaisseur e_i d'isolant (cm)						
Hauteur d'exposition au feu H_e (m)	8	10	12	16	20	24	28
4	21	15	15	15	15	15	15
6	29	19	15	15	15	15	15
8	33	23	15	15	15	15	15
10	34	24	16	15	15	15	15
11	x	28	20	16	15	15	15
12	x	31	23	18	15	15	15
13	x	x	26	20	17	15	15

5.186 Dispositions constructives particulières

Dans le cas d'un isolant combustible, celui-ci est protégé par l'extérieur par la peau en béton de l'InovMur⁽¹⁾. En partie courante, les isolants sont protégés par l'épaisseur de béton du voile intérieur.

L'appréciation de laboratoire n° 020644 prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0.

Des bandes de laine de roche de 10 cm minimum et de densité de 100 à 150 kg/m³ sont mises en œuvre à la préfabrication en périphérie des panneaux préfabriqués, aussi bien en pied de panneau qu'au pourtour des ouvrants et aux points singuliers (façades en débord).

La validation de ces dispositions pour l'ensemble du domaine d'emploi revendiqué (y compris les bâtiments d'habitation classés de la 3^{ème} et 4^{ème} famille) a fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° 024686 délivrée par le CERIB.

5.2 Prescriptions particulières aux Inov'Mur⁽¹⁾ essentiellement sollicités dans leur plan

5.21 Prescriptions particulières aux Inov'Mur⁽¹⁾ courants

Les joints en pied sont généralement de type « articulés ».

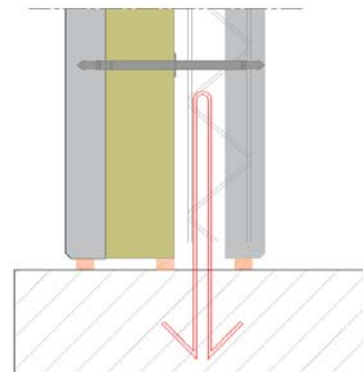


Figure 38 : Liaison en pied des murs courants

Les sollicitations doivent être équilibrées au droit des joints selon les règles NF EN 1992-1-1 et son Annexe nationale NF EN 1992-1-1/AN en considérant :

- La résistance caractéristique du béton de remplissage $f_{ck,n}$,
- Les armatures ancrées au-delà du joint,
- La section utile résistante aux efforts, qui est celle du béton de remplissage.

5.22 Prescriptions particulières aux poteaux

La distinction entre « mur » et « poteau » est faite selon l'article 5.3.1 (7) de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale. Un poteau est un élément dont le grand côté de la section transversale ne dépasse pas 4 fois le petit côté de celle-ci et dont la hauteur est au moins égale à 3 fois le grand côté.

Lorsque ce n'est pas le cas, il convient de considérer l'élément comme un voile. L'ensemble des prescriptions de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale pour le dimensionnement des poteaux doit être vérifié et complété par les justifications suivantes.

Dans le cas où le poteau est soumis à des efforts horizontaux, le monolithisme de la section doit être vérifié, selon l'article 5.31 de ce dossier technique.

On considère conventionnellement comme soumis à une compression centrée tout poteau isolé :

- Sollicité uniquement par un effort normal de compression N_{ed} ,
- Lorsque son élancement λ vérifie l'expression suivante (article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale) :

$$\lambda < \lambda_{lim} = 20 A * B * C / \sqrt{N}$$

Avec :

- λ : l'élancement du poteau défini comme le rapport de la longueur efficace du poteau sur le rayon de giration de la section droite,
- λ_{lim} : la valeur limite de l'élancement,
- A , B et C : sont définis à l'article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale,
- N : l'effort normal relatif défini à l'article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

Dans l'hypothèse où l'élancement du poteau est supérieur à l'élancement limite calculé ci-dessus, les effets du second ordre ne sont plus négligeables et les méthodes de calcul décrites dans l'article 5.8.5 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale peuvent être appliquées : méthode basée sur la rigidité nominale (article 5.8.7) et méthode basée sur la courbure nominale (article 5.8.8).

Les calculs sont réalisés sur la base de la section courante.

5.221 Sollicitation en compression centrée

L'effort normal N_{Ed} agissant à l'ELU est limité par la valeur suivante :

$$N_{Rd} = A_c \times f_{cd} + A_s \times \sigma_s$$

Avec :

- N_{Rd} : l'effort normal résistant de calcul du poteau,
- A_c : la section résistante du poteau calculée en considérant l'épaisseur structurale du poteau, réduite des chanfreins

éventuels si le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm, ou si la pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs. Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau,

- f_{cd} : la valeur de calcul de la résistance en compression du béton telle que définie à l'article 3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA,
- A_s : la section d'armatures,
- σ_s : la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égale à f_{yd} .

5.222 Poteaux résistant par le béton seul

Pour le cas particulier des poteaux résistants par le béton seul, l'effort normal N_{Ed} limite agissant à l'ELU en tête de poteau est alors limité à :

$$N_{Rd} = A_c \times \alpha_{cc} \times f_{ck,eq} / \gamma_c$$

Avec :

- N_{Rd} : l'effort normal résistant de calcul du poteau,
- $f_{ck,eq}$: la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur structurelle du mur telle que définie à l'article 5.12 de ce dossier technique,
- A_c : la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur structurelle du poteau réduite des chanfreins éventuels, si :
 - Le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm,
 - La pose est réalisée sur un mortier de calage de résistance au moins égale à la valeur $f_{ck,n}$ prise en compte dans les calculs.

Dans le cas contraire, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau de résistance caractéristique à la compression $f_{ck,n}$.

- γ_c : le coefficient partiel de sécurité relatif au béton tel que défini à l'article 2.4.2.4 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale,
- α_{cc} : un coefficient tenant compte des effets à long terme sur la résistance en compression et des effets défavorables résultant de la manière dont la charge est appliquée (article 3.1.6 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale).

Le ferrailage est réalisé de la même manière que pour un Inov'Mur⁽¹⁾ : aciers horizontaux, verticaux et treillis raidisseurs. Les bouts des Inov'Mur⁽¹⁾ seront systématiquement fermés par des U.

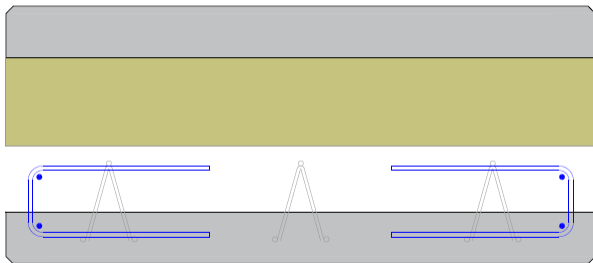


Figure 39 : Section de poteau résistant par le béton seul

5.223 Poteaux nécessitant des armatures structurelles

Ces poteaux pourront être réalisés en Inov'Mur⁽¹⁾ mais les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme indiquées sur la Figure 40. Il convient :

- Que chaque barre longitudinale soit maintenue par des armatures transversales,
- De ne pas disposer de barre non tenue à moins de 150 mm d'une barre tenue conformément à l'article 9.5.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale

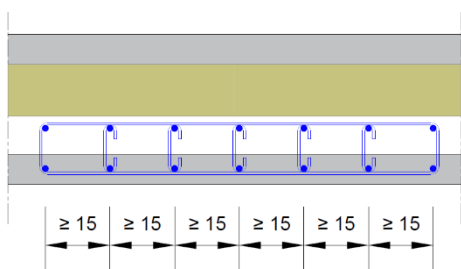


Figure 40 : Section de poteau fortement chargé

L'effort normal agissant de calcul N_{Ed} en tête de poteau est limité par :

$$N_{Rd} = A_c \times \alpha_{cc} \times f_{ck,eq} / \gamma_c + A_s \times \sigma_s$$

Avec :

- N_{Rd} , A_c , α_{cc} , $f_{ck,eq}$, γ_c : voir article 5.2.2.2
- σ_s : la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égal à f_{yd} .

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au paragraphe 5.144 de ce dossier technique :

Epaisseur Structurelle (cm)	ϕ maxi
14	12
15	16
16	20
>= 18	25

5.23 Prescriptions particulières aux poutres

L'ensemble des prescriptions de la norme 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 structurelle de la poutre.

5.231 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 paroi préfabriquée/noyau coulé en place et par la mise en place d'aciers de couture.

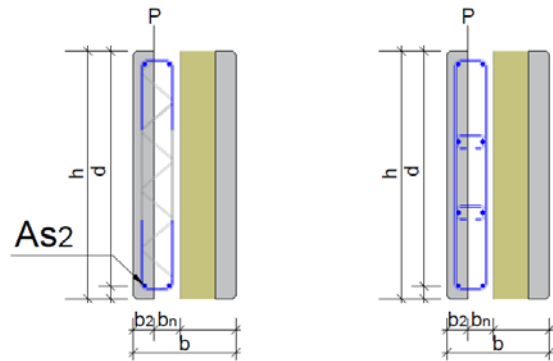


Figure 41 : Plan de cisaillement dans la section d'une poutre

On peut admettre que l'effort de glissement g_2 par unité de longueur relatif à la largeur de la paroi préfabriquée (sur le plan de cisaillement P2) est égale à :

$$g_2 = \max(V_{Ed} \times b_2 / (z \times b) ; V_{Ed} \times A_{s2} / (z \times A_s))$$

Avec :

- V_{Ed} l'effort tranchant sollicitant de calcul à l'ELU, en kN,
- A_s la quantité d'armatures tendues égale à la somme des aciers A_{s2} de la seconde paroi préfabriquée (en cm²),
- z le bras de levier de la section, pris égal à 0,9 d (d étant la hauteur utile de la section), en m.

On en déduit la contrainte de cisaillement maximum $\tau_{Ed,max}$ qui s'exerce sur les plans de couture (en MPa) :

$$\tau_{Ed,max} = 10^{-3} \times g_2 / (0,60 \times h)$$

Avec :

- h : la hauteur totale de la poutre, en m.

La liaison par le béton seul est systématiquement renforcée par des treillis raidisseurs traversant le plan de reprise. Il convient de vérifier à l'interface entre les deux bétons que la valeur limite de calcul de la contrainte de cisaillement $\tau_{Ed,lim}$ est telle que :

$$\tau_{Ed,lim} = \max(V_{Rdi} ; 0,50 \times v \times f_{cd,n})$$

Avec :

- $V_{Rdi} = c \times f_{ctd,n} + \rho_a f_t (\mu \times \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{ar} f_t' (\mu \times \sin \alpha' + \cos \alpha')$
- $f_{cd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la

norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA,

- $f_{ctd,n}$: la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale,
- V_{Rdi} : la valeur de calcul de la contrainte de cisaillement à l'interface,

La contrainte disponible f_t dans chaque branche du treillis raidisseur est telle que :

$$f_t = \min(R_{e,Di}/\gamma_s ; F_w / (A_{di} \times \gamma_s))$$

- $R_{e,Di}$: la limite apparente d'élasticité des aciers,
- γ_s : le coefficient partiel de sécurité sur l'acier,
- F_w : la résistance garantie de la soudure des sinusoides sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur,
- A_{di} est la section d'une diagonale du treillis raidisseur,
- ν : est un coefficient de réduction de la résistance du béton défini de la manière suivante :

$$\nu = 0,60 \times (1 - f_{ck,n} / 250)$$

Les coefficients c et μ dépendent de la rugosité de l'interface et sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1. Les surfaces seront classées en lisse avec c_{EC2} égal à 0,20 et μ égal à 0,60.

Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c , conformément à l'article 6.2.5 (5) de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

α et α' sont les inclinaisons des diagonales des treillis raidisseurs par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal, ρ_α et $\rho_{\alpha'}$ sont les pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α et α' , calculés comme présenté à l'Annexe 9 de ce dossier technique. L'annexe 10 illustre le principe de calcul de la contrainte de cisaillement limite $\tau_{Ed,lim}$.

Le plan de reprise peut être renforcé en resserrant les treillis raidisseurs ou en disposant des raidisseurs de renforts pour augmenter la valeur de ρ (voir Annexe 10). Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que $\tau_{Ed,lim}$ est supérieure à la contrainte ν_{min} égale à $0,35 \times f_{ct,eq0,5} / \gamma_c$ telle qu'indiquée dans l'annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA (6.2.2(1)), alors il est nécessaire de disposer des armatures transversales d'effort tranchant.

5.232 Vérification des appuis

Les règles d'ancrages d'armatures sont celles de la NF EN 1992-1-1 et de son annexe nationale. L'article 9.2.1.4 s'applique pour l'appui simple d'about et l'article 9.2.1.5 s'applique pour l'appui intermédiaire.

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

- Cas 1 : $b_{app} = b_n$ correspond à l'épaisseur du noyau de l'Inov'Mur(i) (figure 42),
- Cas 2 : $b_{app} = b_{struct} - b_2 - ch_2$ correspond à l'épaisseur structurelle réduite d'une épaisseur de paroi préfabriquée et d'une largeur de chanfrein éventuel (figure 43-cas 2),
- Cas 3 : $b_{app} = b_{struct} - ch_2$ correspond à l'épaisseur structurelle réduite de la largeur de chanfrein éventuel (figure 43-cas 3),

Avec :

- b_{struct} : l'épaisseur structurelle de l'Inov'Mur(i),
- b_n : l'épaisseur du noyau coulé en place,
- b_2 : l'épaisseur de la seconde paroi préfabriquée,
- ch_2 : largeur des chanfreins de la seconde paroi préfabriquée.

La valeur de b_{app} permet ensuite le calcul du ferrailage de cisaillement sur appui (articles 8.4.4 et 9.2.1.4 de la norme NF EN 1992-1-1) et la vérification de la bielle d'about selon l'article 6.5.4 de la norme NF EN 1992-1-1.

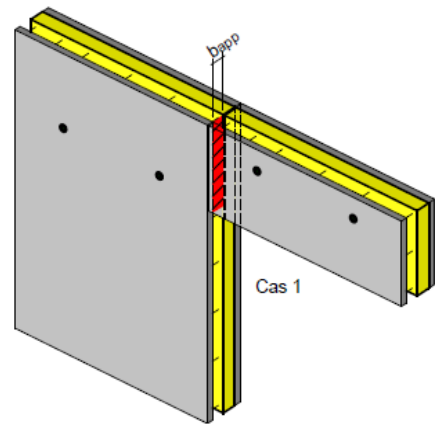


Figure 42 : Appui de poutre → Cas 1

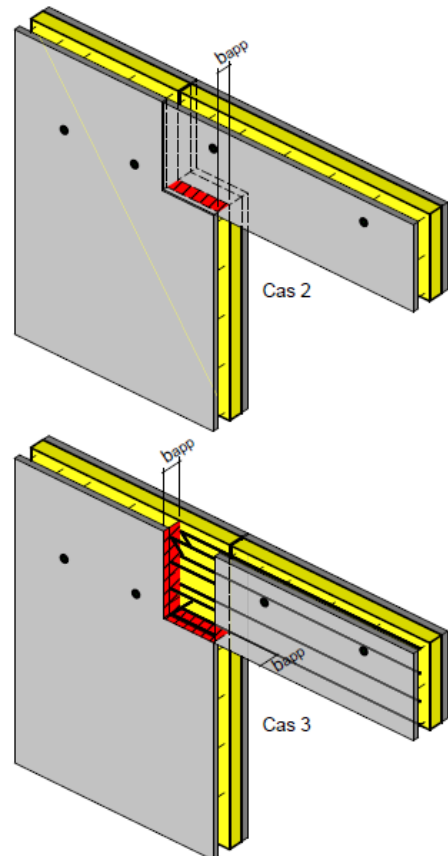


Figure 43 : Appui de poutre → Cas 2

5.233 Résistance à la torsion

Comme pour les poutres élancées, nous devons éviter de faire travailler les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ en torsion, notamment en raison des déformations qu'il en résulte. Toutefois, lorsqu'on ne peut pas éviter de le faire, l'article 6.3 de la NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale s'appliquent.

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 b_n du noyau (dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus),
- Soit l'épaisseur totale diminuée d'une épaisseur de paroi préfabriquée et d'une largeur de chanfrein éventuel ($b - b_{p2} - ch_2$) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus,
- Soit l'épaisseur totale diminuée des largeurs de chanfreins éventuels ($b - ch_2$) dans le cas d'un joint du type cas 3 ci-dessus.

Si la largeur du chanfrein ch_2 est inférieure au 1/10e de la plus petite dimension de la section prise en compte dans le calcul de la torsion, alors la présence de ce chanfrein est négligée.

5.234 Vérification des renforts sous un appui ponctuel de poutres

Annexe 12 : Justification des renforts sous appui ponctuel de poutres

5.24 Prescriptions particulières aux poutres-voiles.

5.241 Généralités

Est considérée comme « poutre-voile » les poutres droites de section constante dont la hauteur de section est supérieure au tiers de la portée selon l'article 5.3.1 (3) de la norme NF EN 1992-1-1. Les poutre-voiles réalisées en tout ou partie à l'aide d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont dimensionnées selon la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

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

Les vérifications portent principalement sur les points suivants :

- La vérification de la stabilité d'ensemble de la poutre-voile,
- La vérification des points singuliers (joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾),
- La vérification de la faisabilité de mise en œuvre des armatures (tirant).

L'Annexe 7 présente les différents cas types qui peuvent être rencontrés.

5.242 Vérification de la Stabilité d'ensemble

Il convient de tenir compte des effets d'instabilité latérale des poutres-voiles par une épaisseur minimale de la partie structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

L'épaisseur minimale de la partie structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ doit être au moins égale à :

$$b_{struct} \geq 0,14 \times L \times \sqrt[3]{(p_{Ed} / (f_{ck,eq} \times h))}$$

Avec :

- p_{Ed} : la charge appliquée par unité de longueur de la paroi sous la combinaison d'actions prises en compte dans le calcul à l'ELU,
- h : la hauteur de la poutre-voile,
- L : la portée de la poutre-voile,
- $f_{ck,eq}$: la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Cette vérification n'est pas à mener dans le cas d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ efficacement raidis par des membrures supérieures et inférieures solidaires des montants d'appui.

Dans le cas de présence de joints de calepinage et quelles que soient leurs positions, seule l'épaisseur du noyau est prise en compte pour cette vérification.

Dans le cas contraire, l'épaisseur structurelle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est prise en compte.

Dans le cas où cette vérification n'est pas satisfaite, le noyau au droit des joints doit être augmenté soit par :

- L'épaississement de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ constituant la poutre-voile,
- L'ouverture partielle ou complète des joints entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Dans tous les cas, l'épaisseur retenue doit être suffisante pour assurer la bonne mise en œuvre des armatures et leur continuité.

5.243 Vérification des points singuliers

Les dispositions constructives au droit des joints doivent respecter les prescriptions de l'article 3.123 (principe de vérification des liaisons au droit des joints).

L'Annexe 9 de ce dossier technique propose une application numérique sur le principe de vérification des liaisons entre Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Les abouts des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ constituant les poutres-voiles doivent être munis de couture (Annexe 8 de ce dossier technique).

A défaut de justifications de la résistance de la liaison, une poutre-voile doit être inscrite dans un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ (pas de joints) (Annexe 7 de ce dossier technique : « Poutres-voiles incorporées aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ »).

Dans tous les cas, la section des armatures de liaison sera au moins égale à la section d'armatures horizontales ou verticales déterminée conformément à l'article 9.7 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale.

Pour le recouvrement des barres coupées et requises par le calcul, il y a lieu d'appliquer le paragraphe 5.143 de ce dossier technique.

5.25 Prescriptions particulières aux acrotères

Les acrotères en Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont conformes aux prescriptions de l'article 7.2.4 de la NF P 10-203-1 (DTU 20.12).

5.251 Généralités

Lorsqu'un bâtiment réalisé en Inov'Mur⁽ⁱ⁾ se termine avec un acrotère, il convient de soigner l'isolation du relevé d'acrotère pour éviter le pont thermique engendré par « la paroi intérieure » qui se trouve à l'extérieur sur la hauteur de l'acrotère.

5.252 Acrotères

5.2521 Cas des acrotères bas

Les acrotères bas sont réalisés par prolongement :

- De la paroi extérieure de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ et du noyau qui est coffré sur chantier,
- De la totalité de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ : la liaison avec la dalle est obtenue avec des boîtes d'attentes ou des armatures rapportées dans une réservation prévue dans la paroi intérieure de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾. (Figure 44)

Dans les deux cas, la face intérieure est isolée pour éviter le pont thermique.

Les armatures longitudinales des acrotères sont éclissées au droit de chaque joint vertical par la mise en place d'armatures de section équivalente dans le noyau.

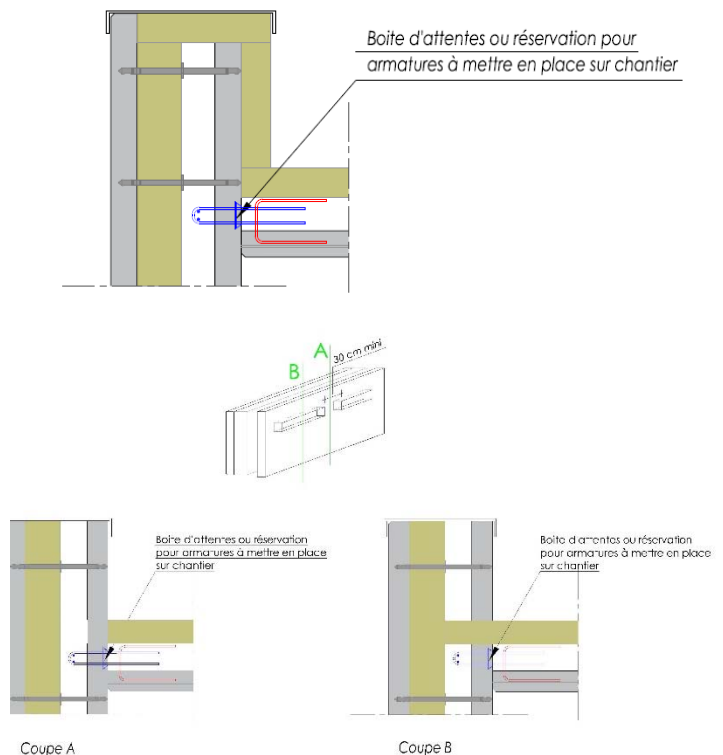


Figure 44 : Acrotères avec dalle suspendue – hors zone sismique

5.2522 Acrotère Haut au sens du DTU 20.12

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ du dernier niveau (Figure 46) ou constitué d'un élément complémentaire rapporté au-dessus de la dalle terrasse (Figure 45).

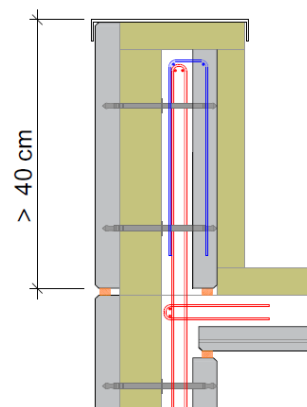


Figure 45 : Acrotère haut constitué d'un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ rapporté

Dans les deux cas il convient d'isoler la paroi « intérieure » qui se trouve à l'extérieure pour éviter le pont thermique. La partie structurelle de l'acrotère est protégée des variations thermiques. Les joints de fractionnement ne sont pas utiles.

Lorsque la paroi « intérieure » n'est pas isolée, l'acrotère est constituée : (Figure 46)

- D'une partie basse ferrallée en continue,
- D'une partie supérieure fractionnée, exempte d'armatures de liaisons et dont les joints restent vides sur toute l'épaisseur de la partie structurelle.

Cette dernière disposition sera obtenue par l'insertion dans le joint, au moment du remplissage des murs, d'une bande 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. Ils pourront être confondus avec les joints des Inov'Mur(i) et auront une largeur minimum de 2 cm.

Si l'espacement est limité à 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.

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur, les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont équipés au droit des joints d'une réservation disposée côté toiture, permettant le bon éciissage des armatures de la partie continue de l'acrotère.

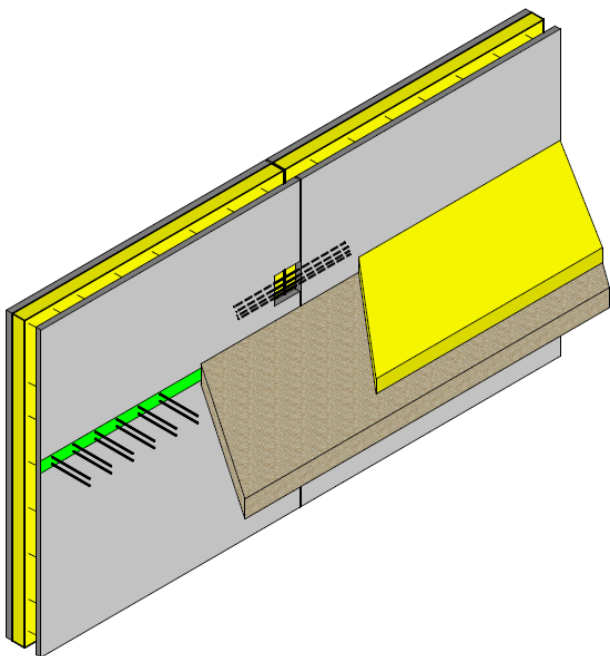


Figure 46 : Acrotère haut réalisé par prolongement de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ dont la paroi « intérieure » n'est pas isolée

5.26 Prescriptions particulières aux consoles, balcons et terrasses.

Les ouvrages en portes à faux, les balcons et terrasses sont reliés à la structure porteuse (paroi intérieure et noyau coulé sur chantier)

Les balcons doivent reposer sur l'ensemble peau intérieure + noyau sans mettre en charge la paroi extérieure qui doit rester librement dilatable. La découpe au droit du balcon se fera sur la paroi extérieure du panneau du dessous. Que les balcons soient préfabriqués ou coulés en place, ils doivent être étayés pendant le temps nécessaire à la prise du béton dans la dalle servant à l'équilibrage.

Afin de limiter les ponts thermiques linéiques, il est recommandé de limiter le porte-à-faux du balcon et de prévoir 2 bandes pleines en porte-à-faux sur lesquelles la dalle de balcon porte parallèlement aux façades. Cette disposition permet d'assurer la continuité de l'isolation thermique sur la plus grande partie de l'interface balcon/façade.

L'étanchéité sera assurée par mise en œuvre d'un joint mastic élastomère 1ère catégorie sur fond de joint en silicone. Ce joint sera filant sur toute la longueur du balcon, y compris au droit des bandes pleines. L'étanchéité en sous-face de balcon sera assurée de la même façon. On veillera à l'étanchéité verticale sur les 2 chants du balcon.

Un jeu de 3 cm mini sera mis entre la paroi extérieure et l'arase supérieure du balcon.

On distingue les cas de figure suivants :

5.261 L'isolation est interrompue au droit de la dalle :

L'ouvrage en console est directement relié à la structure porteuse (Figure 47).

Un matériau résilient sera placé entre la paroi extérieure et la sous face de l'ouvrage en porte à faux de façon à éviter une mise en charge de la paroi extérieure par l'ouvrage en console.

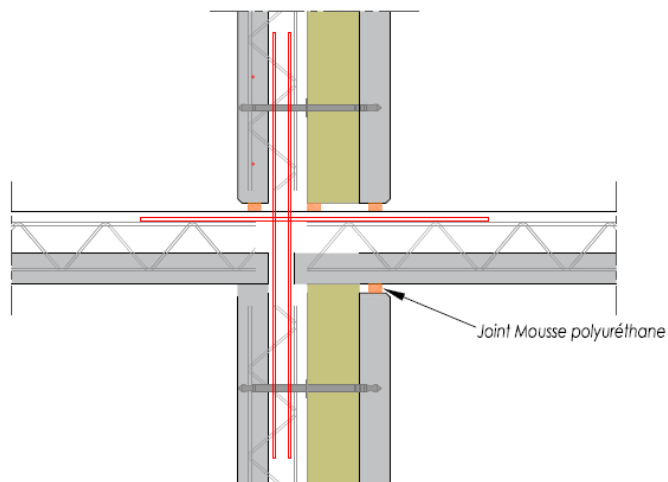


Figure 47 : Liaison Inov'Mur⁽ⁱ⁾/balcon

5.262 L'isolation est continue au droit de la dalle :

Au niveau des balcons, les dispositions sont les suivantes :

- Jeu de 1,50 cm entre la paroi extérieure et la sous face du balcon,
- Jeu de 3 cm mini entre la paroi extérieure et l'arase supérieure du balcon,
- Etanchéité des tableaux entre la paroi extérieure et la menuiserie.

Les armatures des consoles, balcons et terrasses sont réalisées par le BET Structure du chantier.

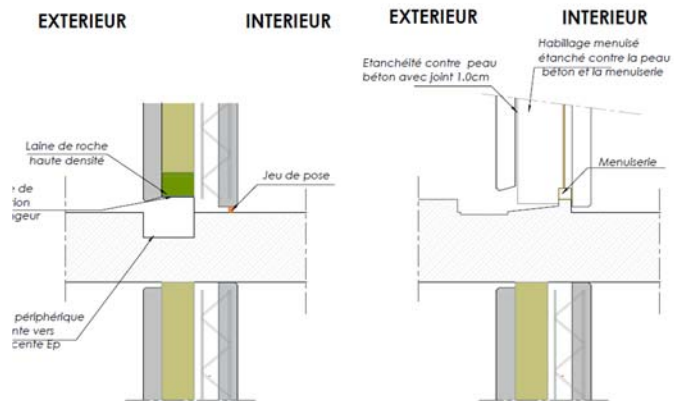


Figure 52b : Balcon sans rupteur de pont thermique.

Figure 48a : Liaison Inov'Mur⁽ⁱ⁾/balcon

Pour les terrasses, le plan d'étanchéité :

- Relevé BA traditionnel de 45 cm de hauteur minimum pour exécution du relevé d'étanchéité avec isolation,
- Pose de l'Inov'Mur(i) sur le relevé BA. (Figures 48bet 48c)

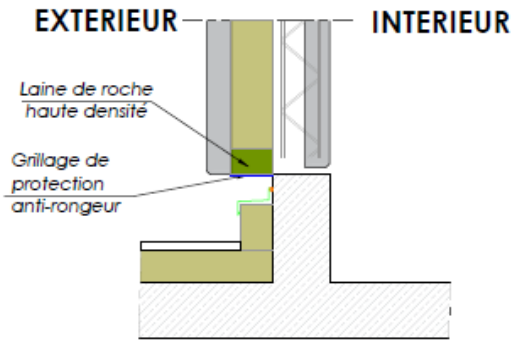


Figure 48b : Liaison Inov'Mur⁽ⁱ⁾/Terrasse

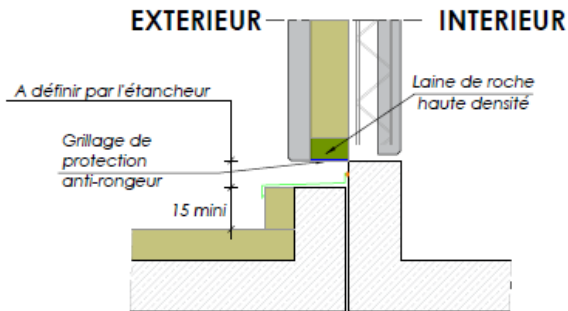


Figure 48c : Liaison Inov'Mur⁽ⁱ⁾/Terrasse

5.27 Traitement des baies dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Voir l'annexe 13 : Traitement des Baies des Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Voir l'annexe 15 : Ferrailage Minimum des Baies des Inov'Mur⁽ⁱ⁾

5.3 Prescriptions particulières aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

5.31 Prescriptions communes

5.311 Encastrement avec 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.

5.312 Monolithisme - Vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface voile préfabriqué/noyau coulé en place

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

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} / (l \times 0,9 \times d)$$

Avec :

- V_{Ed} : l'effort tranchant de calcul agissant à l'ELU évalué pour une bande de largeur l ,
- d : la hauteur utile.

Néanmoins lorsque la section droite du mur est entièrement comprimée, et lorsque la vérification de la tenue du mur par rapport aux effets du second ordre est non dimensionnante, la contrainte de cisaillement τ_{Ed} à l'interface de la paroi préfabriquée/béton coulé en place peut être évaluée par la formule :

$$\tau_{Ed} = V_{Ed} \times S / (l \times I)$$

Avec :

- S : le moment statique de la section d'épaisseur b_{p2} par rapport au centre de gravité de la section,
- I : le moment d'inertie de la section de hauteur b supposée homogène.

Si on considère une largeur unitaire $l = 1$, alors τ_{Ed} s'écrit :

$$\tau_{Ed} = 6 \times V_{Ed} \times b_2 \times \frac{(b - b_2)}{b^3}$$

Cette contrainte doit être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée à l'Annexe 10.

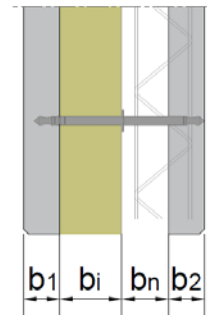


Figure 49 : Repérage des épaisseurs unitaires d'un Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

5.32 Prescriptions particulières aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ enterrés

Voir l'article 3.9 pour les conditions de réalisation des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ enterrés. La partie enterrée ne pourra pas dépasser 1 m.

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 ou dans des semelles)

Les armatures de reprise au niveau des planchers sont disposées dans le béton coulé en place ou peuvent être intégrées dans l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ 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.

Une grille anti-rongeur doit être mis en pied de mur pour protéger l'isolant.

6. Fabrication – Mise en Œuvre – Rôle des différents intervenants

6.1 Fabrication

Le procédé Inov'Mur⁽ⁱ⁾ fait l'objet d'une certification NF. La fabrication consiste à réaliser une première paroi en béton armé équipée de plaques d'isolant et des connecteurs qui, après étuvage, sera assemblée à une seconde paroi par prise du béton frais de cette dernière autour de l'autre extrémité du connecteur.

Le processus est le suivant :

1. Découpage et perçage des plaques d'isolant avant le début de la fabrication,
2. Nettoyage de la table de coffrage destinée à la fabrication de la paroi extérieure,
3. Projection d'un décoffrant,
4. Mise en place des coffrages de la paroi extérieure,
5. Traçage et pose des mannequins bois des baies et pose des douilles ainsi que des différents inserts,
6. Fabrication des armatures et pose des armatures et du système de levage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾,
7. Contrôle de la conformité par rapport au plan de coffrage et de ferrailage,
8. Fabrication du béton et acheminement jusqu'à la distributrice béton,
9. Répartition du béton sur les tables,
10. Vibration ou secouage du béton avec contrôle du compactage de la paroi extérieure,
11. Pose des plaques d'isolant sur la face béton qui vient d'être compactée,
12. Insertion des connecteurs dans les plaques d'isolant dans le béton frais,
13. Contrôle de hauteur des connecteurs,
14. Vibration unitaire ou en simultané (vibration de la table de fabrication) suivant un cycle automatique des connecteurs avec contrôle de la vibration (contrôle de plasticité, du temps de mise en œuvre des connecteurs et du cycle de vibration),
15. Durcissement de la paroi extérieure,
16. Nettoyage de la table de coffrage destinée à la fabrication de la paroi intérieure,
17. Projection d'un décoffrant,
18. Mise en place des coffrages de la paroi intérieure,
19. Traçage et pose des mannequins bois des baies et pose des

- douilles ainsi que des différents inserts,
20. Fabrication des armatures et pose des armatures et du système de levage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾,
 21. Contrôle de la conformité par rapport au plan de coffrage et de ferrailage,
 22. Fabrication du béton et acheminement jusqu'à la distributrice béton,
 23. Répartition du béton sur les tables,
 24. Vibration ou secouage du béton avec contrôle du compactage de la paroi intérieure,
 25. Retournement de la paroi extérieure durcie,
 26. Intégration des connecteurs de la paroi extérieure équipée de l'isolant dans la paroi intérieure,
 27. Vibration ou secouage du béton avec contrôle du compactage de l'ensemble des 2 parois,
 28. Durcissement de l'ensemble,
 29. Après durcissement, relevage de la table puis décoffrage,
 30. Stockage provisoire dans un rack adapté pour nettoyage et finition,
 31. Marquage, colisage dans un rack auto-stable et expédition suivant l'ordre de pose sur chantier.

Les connecteurs ne sont pas sollicités à l'arrachement à la sortie de l'étuvaie.

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont acheminés sur leurs tables qui sont inclinés par des vérins lors du décoffrage, pour éviter les efforts sur les connecteurs.

La valeur minimale de résistance à la compression du béton pour les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ dans le cadre du référentiel technique NF 548 est de 35 MPa à la livraison du produit et un délai de 3 jours après la fabrication.

6.2 Contrôles de fabrication

Les éléments sont contrôlés à chaque étape de la production selon la procédure du référentiel NF 548 et notamment sur les points suivants.

6.2.1 Contrôles des bétons

Les bétons destinés à la fabrication des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ font l'objet d'un contrôle régulier conformément à la NF EN 206/CN.

6.2.2 Contrôle des raidisseurs

Les raidisseurs font l'objet d'une certification NF AFCAB.

Les principaux critères de certification sont les suivants :

- Hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 mm sur cette dimension,
- Résistance des soudures.

Ce contrôle porte sur la résistance des soudures du treillis aux aciers longitudinaux inférieurs et supérieurs. Il s'agit de la résistance au cisaillement d'une seule soudure sollicitée par traction exercée sur une diagonale du treillis, l'effet éventuel de la seconde soudure de la boucle étant neutralisé par le sciage préalable de la boucle.

Statistiquement, avec un fractile de 5 % et un niveau de confiance de 90 %, 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 (sinusoïdes)	Résistance de la soudure R [daN]	Force disponible à la limite élastique Fs [daN]
ϕ 5 mm	980	982
ϕ 6 mm	1180	1414

Le stockage est conçu pour ne pas altérer les qualités techniques et dimensionnelles des raidisseurs.

Un contrôle est intégré dans notre C.P.U.

Les raidisseurs couramment utilisés sont les suivants :

Raidisseurs utilisés	INTERSIG CKT	ACOR	BDW-KT 800
\emptyset Membrane supérieure (mm)	8	8	8
\emptyset membrures Inférieure (mm)	5	5	5
\emptyset Diagonales (mm)	5	5	5

6.2.3 Contrôles Qualité

Les différents contrôles sont :

- Le contrôle de la conformité du coffrage et du ferrailage de la paroi extérieure avant bétonnage : le responsable de poste vérifie les

dimensions du coffrage, la localisation et le nombre des réservations, ainsi que les caractéristiques des armatures.

- Après bétonnage de la paroi extérieure et mise en place de l'isolant : contrôle de la position des connecteurs, du jointoiement des plaques d'isolant, et enrobage des connecteurs.
- Après assemblages des 2 parois : contrôle de l'épaisseur du mur fini et de l'alignement des deux parois.
- Après décoffrage : contrôle de l'état de surface.

Le Plan de contrôle du dossier technique, indique que la performance des bétons est testée avec la fréquence suivante : une fois par semaine pour chaque formule ou famille de formule active.

Le béton est testé à 28 jours et à la livraison, avec 3 éprouvettes par test, chaque semaine. En référence au référentiel NF 548 : valeur minimum 35 MPa avant livraison.

L'ensemble des contrôles est réalisé d'après la NF EN 14992 et le référentiel NF 548 en vigueur.

6.3 Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ont un poids propre de 335 kg/m² en général, mais celui-ci fluctue en fonction des épaisseurs des parois et la quantité d'armatures.

Les dimensions maximales courantes (*hauteur x largeur ou largeur x hauteur*) sont fonction des usines de production :

- Usine de JOUSSELIN : 3,70 x 13,00 m,
- Autres usines : voir cas par cas.

Les épaisseurs courantes des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ : 31, 35, 40, 45, 50 cm, mais le process de production permet de réaliser des épaisseurs d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ entre 26 et 50 cm.

Les tolérances dimensionnelles sont conformes aux prescriptions du référentiel NF 548.

Les tolérances sur l'enrobage des armatures sont : +/- 5 mm.

6.4 Finitions et Aspect

Tous les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ présentent une surface brute de décoffrage, ou une finition chimique ou mécanique.

6.4.1 Etat de surface

L'état de surface courant correspond à une surface de décoffrage contre moule. En référence à la norme CEN/TR 15739, le parement standard de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est classé P(3), E(3-3-0), T(0).

Une des deux faces de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ peut présenter un aspect structuré grâce à l'utilisation de matrice de type RECKLI ou équivalent.

L'empreinte doit néanmoins être de forme régulière afin de permettre le boutage des matrices sur les tables de coffrages et le calepinage de ces zones.

6.4.2 Teinte

La teinte du parement des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ peut varier d'un mur à l'autre. L'homogénéité de la teinte n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie du fait d'incorporation d'ajouts dans le ciment.

Lorsque la finition de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est une lasure dont l'aspect doit être uniforme sur toute la surface du parement, il est impératif que l'entreprise de Gros-Œuvre prépare le support à l'aide d'un opacifiant ou homogénéisateur de teinte, appliqué au préalable, de manière à garantir l'aspect final de la lasure.

6.4.3 Préparation du support

La forte compacité du béton des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ doit être prise en compte lors du choix du type de revêtement qui sera appliqué sur le support. (*Lasures, peinture, imprégnation, résine, membrane d'étanchéité, carrelage de parement, RPE, plot de colle pour fixation des plaques de plâtre, ...*)

Les désaffleurements éventuels au droit des joints font l'objet d'un ragréage avant la mise en place des finitions qui comportent elles-mêmes des travaux préparatoires habituels propres au type de finition retenu.

6.4.4 Parements architectoniques

Dans certains cas, principalement la face extérieure de la paroi extérieure reçoit un traitement avant ou après durcissement (*béton désactivé, béton acidé, béton matricé, polissage, sablage, négatifs, faux joints, ...*) :

- Béton désactivé : Application d'un retardateur de prise en fond de moule, puis lavage à l'eau sous pression après démoulage pour laisser apparaître en parement les granulats du béton,
- Béton acidé : Désactivation de la surface à l'aide d'un acide pour laisser apparaître en parement les sables entrant dans la composition du béton,

- Béton poli : Après démoulage et maturité du béton, polissage par passes successives, à l'aide de meules adaptées pour laisser apparaître en parement les granulats du béton, tranchés et polis,
- Béton sablé : Après démoulage et maturité du béton, projection d'un matériau abrasif sous pression (sable siliceux, corindon, ...) afin de « casser » la paroi du béton et laisser apparaître en parement les sables contenus dans le béton,
- Béton matricié : La paroi coffrante est constituée d'une matrice en élastomère structurée permettant de reproduire des motifs sur le parement de la paroi extérieure.

Dans tous les cas, les graviers et les sables seront choisis pour leur couleur, leur granulométrie, leur dureté et adaptés au traitement du parement choisi

6.5 Traitement de la tête des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ exposés aux intempéries

Les têtes de murs exposées aux intempéries sont protégées contre les infiltrations d'eau le long des plans de reprise de bétonnage entre les parois préfabriquées et le béton coulé en place par l'un des moyens suivants :

- Un chaperon béton,
- Une couverture métallique.
- Un enduit type SIKATOP 107 PROTECTION, appliqué sur une imprégnation époxydique type flexible, résistant au gel, et imperméable à l'eau SIKADUR IMPREGNATION,
- Ou tout revêtement d'imperméabilisation à base de liant hydraulique.

6.6 Inserts

Différents types d'inserts peuvent être incorporés dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾, à savoir : pots électriques, gaines électriques, boîtes d'attentes, douilles, baguettes, fourreaux PVC et métalliques, faux trous de banches, tubes de sécurité, platines métalliques, rails Halfen, ...

Les tolérances de pose seront conformes à l'article 6.3.

6.7 Mise en œuvre, manutention, montage, stockage, transport Travaux préliminaires

Le calepinage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est effectué, à partir de plans de coffrage et de ferrailage du BET Structure du chantier, par les sociétés exploitant le procédé. Celui-ci est alors soumis à l'approbation du BET Structures du chantier par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil. Le titulaire du procédé établit les plans d'exécution du ferrailage des panneaux à partir des plans du bureau d'études de structures.

Le dimensionnement de la paroi extérieure, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé.

Le calcul de l'ensemble de la structure est réalisé par le BET de l'opération qui réalise également le dimensionnement du ferrailage de la partie structurelle du Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Le dimensionnement des panneaux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ (partie structurelle) sera vérifié par le titulaire de l'Avis.

L'implantation des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est matérialisée sur le plan de préconisation de pose du fabricant.

Les armatures complémentaires, les dispositifs d'étalement ainsi que les cales nécessaires aux réglages en altimétrie et écartement sont approvisionnées par l'entreprise de Gros-Œuvre.

6.71 Livraison, Stockage

Les conditions de transport sont convenues avec l'entreprise de Gros-Œuvre.

L'aménagement de l'aire de déchargement est à la charge de cette dernière.

Les éléments sont stockés verticalement, sur des Equipements de Transport et de Stockage (E.T.S : rack ou box) et éventuellement livrés par remorque auto-déchargeuse.

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ restent généralement stockés dans les E.T.S. jusqu'à leur mise en œuvre dans l'ouvrage.

Dans le cas d'un stockage réalisé hors des E.T.S., l'entreprise prendra toute disposition garantissant la sécurité des personnels et évitant toute détérioration ou déformation des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

A titre exceptionnel, les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ peuvent être stockés et transportés à plat, sous réserve de respecter les conditions prévues pour ce mode de conditionnement.

L'entreprise respectera le guide de l'INRS : Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité (Guide INRS n° ED 6118)

6.72 Déchargement et Manutention

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont manutentionnés avec des grues à tour ou automotrices. Les élingues sont accrochées aux inserts de levage intégrés aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Les caractéristiques des engins de manutention doivent être compatibles avec le poids des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ à manutentionner. Durant la manutention, ni le crochet de la grue, ni l'élingue de doivent exercer d'effort notable sur les parois préfabriquées des Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Le dimensionnement tient compte :

- De la résistance du béton à la livraison,
- De l'épaisseur des parois des Inov'Mur⁽ⁱ⁾,
- Du poids des éléments.

Lorsque le nombre de points de levage est supérieur à deux, des dispositions doivent être prises par l'Entreprise de Pose pour que les efforts exercés sur chaque insert de levage puissent être équilibrés.

6.73 Mise en place

Les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ seront mis en œuvre conformément :

- Au plan de préconisation de pose du fabricant,
- A la Notice d'Instructions de Pose de du fabricant,
- Aux prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité (Guide INRS n° ED 6118).

L'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est positionné précisément dans son emplacement définitif sur des cales permettant de vérifier les jeux nécessaires.

La paroi extérieure devant RESTER DILATABLE, elle sera posée sur des cales en biseau en bois, afin de pouvoir retirer celles-ci facilement après que le béton du noyau de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ ait atteint sa résistance.

Avant le retrait des élingues, des étais tire-pousse sont fixés à l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ par l'intermédiaire de vis et de douilles métalliques.

D'autres systèmes de stabilisation peuvent être proposés, tels que dispositifs d'équerrage. Les élingues peuvent être décrochées lorsque la stabilité du mur est assurée. Les étais ou les équerrés métalliques sont maintenus en place jusqu'au durcissement du béton de remplissage et la solidarisation du mur avec le restant de la structure.

6.74 Armatures de liaison

Les armatures de liaison sont mises en place dans chaque Inov'Mur⁽ⁱ⁾ avant la pose de l'élément suivant si cette opération est possible ou après la pose des 2 Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Dans le cas des murs de grande hauteur, il est préférable de disposer les armatures de liaison avant de relever l'élément dans sa position finale.

Dans tous les cas, les armatures doivent être efficacement ligaturées pour assurer leur maintien pendant ces phases de mise en œuvre.

Après la pose des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, les armatures de liaison peuvent dans certains cas être déplacées dans leur emplacement définitif et éventuellement complétées par les armatures longitudinales. Les ferrillages complémentaires sont ensuite mis en place avant le début du bétonnage. Le responsable du chantier vérifie avant coulage la conformité des ferrillages avec les plans du BET Structure du chantier et le plan de pose du fabricant.

6.75 Bétonnage

Dans tous les cas où la reprise de bétonnage a un rôle mécanique, l'arrêt du coulage doit être effectué à une distance minimale de 200 mm sous l'arase. Cette distance doit être compatible avec la longueur de recouvrement des armatures.

Pour éviter les fuites de laitance :

- Les joints d'épaisseur nominale inférieure à 3 cm doivent être préalablement calfeutrés avec un cordon de mousse.
- Les joints d'épaisseur nominale supérieure ou égale à 3 cm doivent être coffrés sur les faces extérieures du mur pour assurer le remplissage par le béton sur toute la largeur du mur.

L'utilisation de mousse expansive est interdite.

La face intérieure des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ doit être humidifiée. L'eau accumulée en pied de coffrage doit être éliminée avant bétonnage. Le béton de consistance fluide est généralement mis en place sans vibration en respectant les prescriptions relatives à la hauteur de chute et à la vitesse de bétonnage.

La vibration est cependant obligatoire :

- Au voisinage des joints, dans le cas des ouvrages pour lesquels l'étanchéité est assurée par le béton ainsi que dans le cas de poutres ou poutres-voiles,
- Au droit des zones à forte densité de ferrailage (par exemple poteaux).

La hauteur de chute du béton et la vitesse de bétonnage sont déterminées suivant les prescriptions ci-après et mentionnées sur le plan de préconisation de pose.

Le coulage de la dalle haute en appui sur l'Inov'Mur⁽¹⁾ peut éventuellement être réalisé en même temps que la dernière banchée de remplissage de l'Inov'Mur⁽¹⁾.

6.751 Hauteur de chute du béton

Voir article 5.151 du présent document.

Après décoffrage des Inov'Mur⁽¹⁾, la vérification d'absence de ségrégation ou de fuites de laitance doit être réalisée systématiquement par l'opérateur.

La vitesse maximale de bétonnage est déterminée en application de l'Annexe B de la norme NF EN 14992, en fonction de l'écartement des connecteurs, de leur enrobage par rapport à la face intérieure des parois préfabriquées, de la classe de consistance et de la température du béton.

6.752 Vitesse de bétonnage

Pour les vitesses de bétonnage, voir article 5.152 du présent document.

6.76 Enlèvement des cales de la paroi extérieure

La notice de pose attire particulièrement l'attention du poseur sur l'importance du retrait de TOUTES les cales de pose du côté de la paroi extérieure pour permettre la libre dilatation de celle-ci. Ces éléments doivent être retirés au plus tôt 8 jours après le coulage du noyau ou une fois que le béton de remplissage atteint la résistance en traction f_{ctm} de 2,05MPa pour garantir l'ancrage des suspentes.

6.8 Tolérances de pose de l'Inov'Mur⁽¹⁾

Sauf indication contraire dans les pièces marché (DPM), la mise en place des Inov'Mur⁽¹⁾ doit être suffisamment précise pour que l'ouvrage réalisé ait les dimensions prévues avec les tolérances conformes aux prescriptions du DTU 21 et du DTU 22.1.

6.9 Liaison de l'Inov'Mur⁽¹⁾ avec les ouvrages de second œuvre

Les ouvrages de second œuvre (*menuiseries, coiffes d'acrotères, volets roulants, ...*) ne devront pas gêner la libre dilatation de la paroi extérieure.

Voir l'annexe 13 : Traitement des Baies des Inov'Mur⁽¹⁾

6.10 Rôle des différents intervenants

La fabrication du procédé est effectuée en usine par le titulaire de l'Avis.

La mise en œuvre du procédé est effectuée par l'entreprise titulaire du marché. Le fabricant fournira systématiquement au client une notice d'instructions pour la mise en œuvre des Inov'Mur⁽¹⁾.

Le calepinage des Inov'Mur⁽¹⁾ est effectué par les sociétés exploitant le procédé et soumis à l'approbation du BET Structures du chantier par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil. Le dimensionnement de la paroi extérieure, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé. Le calcul de l'ensemble de la structure est réalisé par le BET de l'opération qui réalise également le dimensionnement du ferrailage de la partie structurelle du Inov'Mur⁽¹⁾. Le dimensionnement des panneaux Inov'Mur⁽¹⁾ (partie structurelle) sera vérifié par le titulaire de l'Avis.

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

Le titulaire du procédé établit les plans d'exécution du ferrailage 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.

7. Etanchéité-traitement des joints

7.1 Prescriptions communes

Il est précisé que l'étanchéité à l'eau et à l'air des Inov'Mur⁽¹⁾ est réalisée par le noyau coulé en place et un complément de traitement en joint creux des joints intérieurs.

La liaison des menuiseries est traitée avec soin pour garantir cette étanchéité (*fond de joint et joint élastomère de 1ère catégorie*).

Avant tout traitement des joints et parois, le support est préparé notamment par dépoussiérage.

Les produits de traitement des parois et de traitement des joints seront mis en œuvre conformément aux prescriptions des cahiers de charges des fournisseurs, tant pour la préparation des supports que pour les dispositions propres de mise en œuvre.

Les supports seront préparés de manière à être plans, exempts de laitance, dépoussiérés et secs.

Une attention particulière sera prise sur chantier à la pose des Inov'Mur⁽¹⁾ lors de la mise en place des compriband de sorte à contenir la laitance du béton dans la zone coulée en place.

Si les isolants ne sont pas jointifs à la pose, l'entreprise de pose du chantier procède à un complément d'isolation avec une bombe polyuréthane, ou par la pose d'une bande d'isolation si cela est nécessaire ou indiqué sur les plans de préconisation de pose (*Voir cas A, B et C de l'article 3.122*).

7.2 Murs courants superstructure

7.21 Paroi extérieure

Il convient de rappeler que la paroi extérieure est susceptible de se dilater ou de se rétracter. Cette dilatation est compensée par le jeu fonctionnel prévu entre deux Inov'Mur⁽¹⁾ successifs.

La cote du jeu fonctionnel doit être prise en compte lors de la conception du revêtement.

7.211 Murs de façade revêtus

Les murs revêtus d'un bardage ne nécessitent pas de traitement des joints entre Inov'Mur⁽¹⁾.

Il convient de dimensionner la paroi extérieure en fonction du poids propre du revêtement et de veiller à la prise en compte de la dilatation du panneau extérieur. Ce cas de figure reste néanmoins marginal compte tenu de la redondance des parements et de son coût économique.

7.212 Murs de façade bruts de fabrication, peints ou lasurés (voir Annexe 1 – Figure 1.1.2)

Les Inov'Mur⁽¹⁾ restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés nécessitent un traitement du joint.

On distingue deux cas de figures :

- L'étanchéité du joint est traitée avec un mastic élastique :
 - Le mastic mono composant (*classement SNJF F 25 E*) polymérise sous l'action de l'humidité de l'air, est prévu pour le traitement des joints de façades préfabriquées exposées.
 - L'épaisseur du mastic doit être au moins de 1 cm.
 - La compatibilité du mastic élastomère et du cordon de fond de joint devra être vérifiée par l'applicateur du produit de traitement du joint.
 - Le chanfrein doit rester marqué.
 - Dans tous les cas, l'entreprise titulaire du lot veillera à la compatibilité du produit de traitement du joint et de la lasure ou peinture utilisée.
- L'étanchéité du joint est traitée avec un profil PVC de type Couvraneuf ou équivalent.
 - Les gouttières intégrées aux parois extérieures et les profils sont mis en œuvre suivant le cahier des charges du fabricant.

7.213 Murs de façade enduits

- Cas des enduits hydrauliques :
 - Les Inov'Mur⁽¹⁾ traités à l'aide d'un enduit hydraulique doivent faire l'objet des mêmes traitements de joint que les Inov'Mur⁽¹⁾ restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés (*voir Annexe 1 – Figure 1.1.2*).
 - La compatibilité du mastic élastomère et de l'enduit hydraulique devra être vérifiée par l'applicateur du produit de traitement du joint.
 - Le joint reste marqué, l'enduit ne peut recouvrir le joint.
- Cas des enduits d'imperméabilisation :
 - Les Inov'Mur⁽¹⁾ qui sont traités à l'aide d'un enduit d'imperméabilisation qui ne couvre pas les joints (*chanfreins marqués*) doivent faire l'objet des mêmes traitements de joints que les murs restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés (*voir Annexe 1 – Figure 1.1.2*).

7.214 Joints horizontaux

Pour les joints horizontaux, 2 cas sont réalisables :

- Cas A : paroi extérieure plus haute de 15 mm vis-à-vis du plancher, (*Figure 50a*)
- Cas B : paroi extérieure au niveau de l'arase supérieure du plancher (*Figure 50b*)

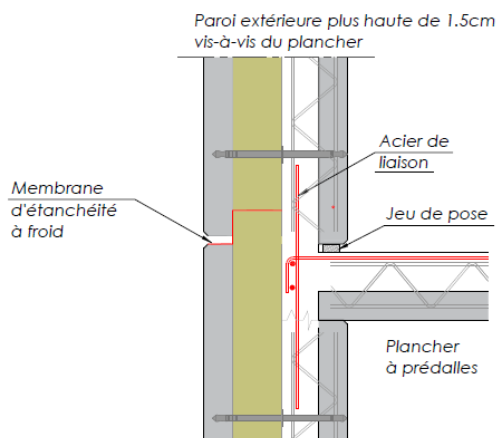


Figure 50a : Détails sur joints horizontaux : paroi extérieure plus haute de 15 mm vis-à-vis du plancher

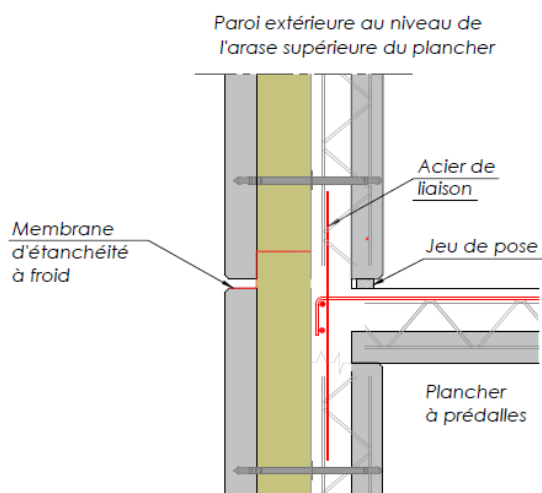


Figure 50b : Détails sur joints horizontaux : paroi extérieure au niveau de l'arase supérieure du plancher

À l'intersection entre joints horizontaux et verticaux, il sera mis en place un complément d'étanchéité par bande collée de 40 cm de large, de type ILLBRUCK ou similaire, formant bavette de rejet d'eau, pour empêcher les infiltrations et la stagnation d'eau au droit de l'isolant. Cette bande collée de rejet d'eau est posée sur chantier au droit des joints verticaux et elle recouvre la paroi extérieure ainsi que l'isolant pour rejeter les eaux de condensations ou d'infiltration vers l'extérieur.

Un orifice sera aménagé aux croisements des joints.

(Voir les schémas en annexe 1.3).

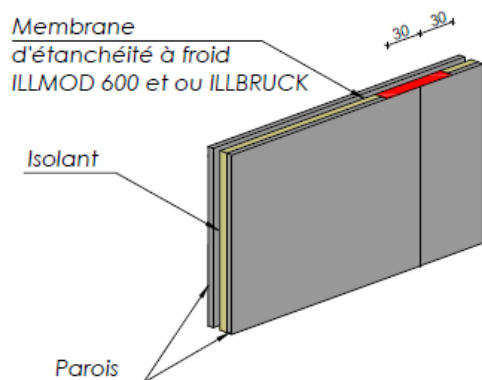


Figure 50c : Détails sur joints horizontaux : paroi extérieure au niveau de l'arase supérieure du plancher

L'étanchéité sur l'épaisseur de la paroi extérieure est réalisée par la mise en place du joint ILLMOD 600 ou équivalent (voir figure 50c).

Au droit des décaissés ponctuels (*douilles de levage*), l'entreprise de mise œuvre applique une double épaisseur de joints ILLMOD.

Les murs restant bruts de décoffrage, sont traités au niveau des joints verticaux, par la mise en œuvre d'un joint ILLMOD lors du positionnement d'un Inov'Mur⁽ⁱ⁾ pour éviter les coulures de laitance.

7.22 Paroi intérieure (voir Annexe 1 – Figure 1.1.1)

Le traitement du joint est réalisé à l'aide d'un mortier hydraulique à retrait compensé.

Un système d'obturation de type cordon de mousse pourra être mise en place comme fond de joint à la pose des murs, pour empêcher les fuites de laitance lors du bétonnage.

L'apparition de fines fissures au niveau de ces joints est toutefois possible mais sans autre inconvénient que leur aspect. Le joint peut rester non traité si ce dernier vient à être masqué par un bardage ou un doublage ou si les contraintes architecturales ne nécessitent pas sa fermeture.

7.3 Murs courants en infrastructure

Dans le cas où le joint de la paroi structurale est accessible en phase chantier et inaccessible en phase d'exploitation pour l'entretien, la dérogation de l'enrobage de 3 cm est possible (1,50 cm minimum), moyennant :

- Le traitement du joint avec une bande bitumineuse,
- Que le mur ne soit pas soumis à une pression hydrostatique.

7.31 Paroi extérieure courante accessible en phase chantier

Pour parer aux infiltrations provoquées par les eaux de ruissellement, les joints verticaux et horizontaux en contact avec le remblai sont traités avec un mastic élastique de classement SNJF F 25 E mono composant qui polymérise sous l'action de l'humidité de l'air 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.

Dans la mesure où le joint de la paroi structurale reçoit ce traitement d'étanchéité, l'enrobage de l'armature de liaison peut être réduit à 1,50 cm. Un drainage sera systématiquement mis en œuvre pour collecter les eaux de ruissellement.

7.32 Paroi extérieure non accessible en phase chantier

Le traitement du joint extérieur se fera par la mise en œuvre au montage, sur le chant de la paroi extérieure des Inov'Mur⁽ⁱ⁾, d'un cordon d'étanchéité de mousse à cellules ouvertes imprégné et autocollant.

L'étanchéité du joint sera complétée par un bétonnage en continu dans la zone du joint vertical avec vibration du béton au droit du joint.

L'enrobage des aciers de liaison doit être de 3 cm minimum, et les abouts des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ doivent être couturés.

Dans le cas d'utilisation en murs de 1ère catégorie au sens du DTU 20.1 - §7.4.2.1, les dispositions du traitement du plan d'étanchéité doivent être appliquées (épaisseurs minimales, chemins critiques ou élément rapporté).

7.33 Paroi intérieure (voir Annexe 1 – Figure 1.1.1)

La face intérieure sera traitée selon les mêmes critères que les parements intérieurs des murs en superstructure.

7.4 Durabilité et entretien des joints

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 Inov'Mur⁽ⁱ⁾ 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 Inov'Mur⁽ⁱ⁾ du dernier niveau doivent comporter des armatures de sections conformes à celles prévues dans le Cahier des 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 dans ce Cahier des 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 armé.

Elle requiert :

- L'exécution des travaux normaux d'entretien des façades en béton,

- La réfection des garnitures de mastic extérieures.

8. Conditions d'exploitation du procédé

8.1 Conception et commercialisation

La société JOUSSELINest titulaire de l'avis technique.

La société JOUSSELIN concède la licence d'exploitation de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ suivant cet avis technique à toutes les sociétés qui lui achètent les connecteurs à matériaux composites à condition qu'elles soient certifiées NF. Ces sociétés réaliseront la conception et la commercialisation suivant le procédé de façon autonome et sous leur seule responsabilité.

Le dimensionnement de la paroi extérieure, des organes de liaison et des raidisseurs est réalisé par le titulaire du procédé. Le calcul de l'ensemble de la structure est réalisé par le BET de l'opération qui réalise également le dimensionnement du ferrailage de la partie structurelle du Inov'Mur⁽ⁱ⁾. Le dimensionnement des panneaux Inov'Mur⁽ⁱ⁾ (partie structurelle) sera vérifié par le titulaire de l'Avis.

Le Bureau d'Etudes interne des sociétés exploitant le procédé de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ s'engagent à effectuer :

- La vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place, qui est spécifique au procédé de l'Inov'Mur(i), ou à s'assurer que cette vérification a bien été effectuée par le BET Structure du chantier,
- Le dimensionnement des connecteurs et des suspentes Inox qui relie la paroi extérieure librement dilatable à la paroi intérieure suivant le dossier technique de l'Inov'Mur(i).

Le calepinage des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ est effectué, à partir de plans de coffrage et de ferrailage du BET Structure du chantier, par les sociétés exploitant le procédé. Celui-ci est alors soumis à l'approbation du BET Structures du chantier par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil.

Le BET Structure du chantier doit tenir compte de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ lors de la conception parasismique des bâtiments avec ce procédé.

8.2 Fabrication

La fabrication est réalisée dans l'usine suivante :

- **Société JOUSSELIN** - Rue d'Anjou - F - 49420 CHAZE HENRY

9. Aide à la mise en œuvre

Le Fabricant fournira systématiquement au Client une notice d'instructions pour la mise en œuvre des Inov'Mur⁽ⁱ⁾. De plus, les Clients utilisant pour la première fois les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ seront assistés par un expert du fabricant lors de la préparation et de la mise en place des premiers Inov'Mur⁽ⁱ⁾. Cette démarche pourra aussi être mise en place contractuellement, au cas par cas, pour l'ensemble des Clients utilisateurs de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

B. Résultats expérimentaux et études

B1 Introduction

Des essais ont été réalisés dans l'atelier de préfabrication de l'entreprise JOUSSELIN à Chazé Henry afin d'appréhender le comportement des panneaux mixtes.

D'autres essais ont été réalisés par le CRITT de Rochefort-sur-Mer dans leur laboratoire et dans les ateliers de l'entreprise JOUSSELIN PREFABRICATION.

Les essais ont pour but de vérifier la résistance et le comportement des connecteurs GDP dans le cadre des sollicitations habituelles, en phase provisoire ou définitive de l'utilisation des murs Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

B2 Type d'essais

B2.1 Essais permettant de caractériser le connecteur en traction :

- Rapport d'essais N°2876.1B : Essais de caractérisation mécanique,
- Rapport d'essais N°2988.1A : Essais d'arrachement sur connecteurs,
- Rapport d'essais N°2988.2A : Essais d'arrachement sur connecteurs (essais retenus pour la caractérisation des connecteurs en phase provisoire).

B2.2 Essais permettant de caractériser le connecteur en flexion/cisaillement :

- Rapport d'essais N°3013.1C : Essais de flexion et cisaillement sur mur double (1,0x1,0 m²),
- Rapport d'essais N°3013.2B : Essais de flexion et cisaillement sur mur double isolé (2,5x2,5 m²).

B2.3 Essais permettant de caractériser le connecteur (flexion/cisaillement) et son encastrement dans le béton à la fatigue :

- Rapport d'essais N° 3013.3.B : Essais de fatigue sur murs doubles de 1,0x1,0 m²
- Rapport d'essais N°3013.4.B : Essais sismiques sur murs doubles isolés de 1,0x1,0 m²

B2.4 Notes de calcul au feu du CERIB

- Note de calcul n° 2013 CERIB 1356,
- Note de calcul n° 2013 CERIB 1379,
- Note de calcul n° 2013 CERIB 1488,
- Note de calcul n° 2013 CERIB 1841,
- Note de calcul n° 2014 CERIB 3060,
- Appréciation de laboratoire du CERIB référencée 020644,
 - Essai de résistance au feu réalisé au CERIB - Rapport d'Essai référence 09 DRI 935
- Appréciation de laboratoire du CERIB référencée 024686,

C. Références

Client	Nom Chantier	Ville	Surface (m ²)
CARDINAL	COLLEGE	LAILLE	1650
CORAVA	COLLEGE	GUIPRY	1370
CHA	LOGEMENTS	SAINTE-HERBLAIN	658
REVIL	PISCINE ELISABETH	PARIS	500
BOUTILLET	CENTRE AQUATIQUE	CHATEAUROUX	660
T2C	GROUPE SCOLAIRE MONET	CANTELEU	773
DEMATHIEU&BARD	LOFT L'OREAL	CLICHY	306
LANDRON	LOGEMENTS	LAVAL	925
SOGEA	COLLEGE TIRAQUEAU	FONTENAY LE COMTE	3000
REVIL	GROUPE SCOLAIRE	CHALETTE SUR LOING	1300
LEGENDRE	RES ETUDIANT	PALaiseau	7000
ROC	HOTEL DALI	CHANTELOUP EN BRIE	2143
DELTA	POLYCLINIQUE DU TONDU	FLOIRAC	896
Mas	42 LOGEMENTS	PAU	5562
EGDC	COLLEGE SUPERVIELLE	BRESSUIRE	2890
Boyer	COLLEGE BELTRAME	VULAINES	1755
DIRIK'S	AEROCAMPUS	LATRESNE	580
GTM	PRISON DE LA SANTE	PARIS	6530
EIFFAGE	BUREAUX TMA	TOULOUSE	490
DEMATHIEU BARD	LOGEMENTS ALLURE	PARIS	4139
RAMERY	GROUPE SCOLAIRE	FLOIRAC	1000
DV	BIO3	TOURS	1400
EIFFAGE	LIDL	NANTES	600
SAVOIE	CENTRE MEDICO SOCIAL	LE MANS	1820
EIFFAGE	GROUPE SCOLAIRE	PARIS	2690
SOGEA	LOGEMENTS	VERSON	1647
CARI THOURAUD	GROUPE SCOLAIRE	MONTEVRAIN	1317
CARI THOURAUD	CHAISS BOLLINGER	AY	1089
SOGEDDA	CHATEAU MALLERET	LE PIAN MEDOC	613

D. Annexes

Annexe 1 : Traitement de l'étanchéité entre Inov'Mur⁽¹⁾

Annexe 1.1 : Traitement des joints courants verticaux

Il est précisé que l'étanchéité à l'eau et à l'air du procédé Inov'Mur⁽¹⁾ est réalisée par le noyau coulé en place et un complément de traitement en joint creux des joints intérieurs.

La liaison des menuiseries est traitée avec soin pour garantir cette étanchéité (*fond de joint et joint élastomère de 1ère catégorie*) (voir Annexe 13)

Avant tout traitement des joints entre les parois, le support doit être préparé notamment par dépoussiérage.

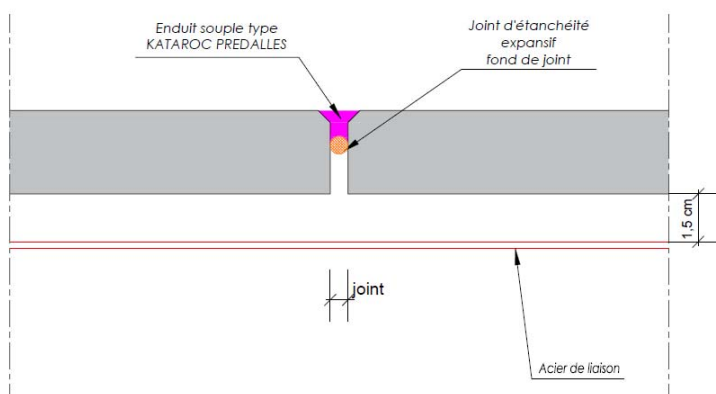


Figure 1.1.1 : Traitement du joint INTERIEUR entre Inov'Mur⁽¹⁾

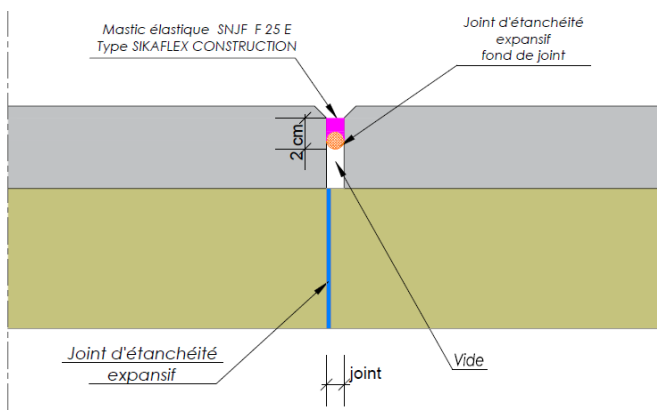


Figure 1.1.2 : Traitement du joint EXTERIEUR entre Inov'Mur⁽¹⁾

Annexe 1.2 : Autres traitements des joints verticaux

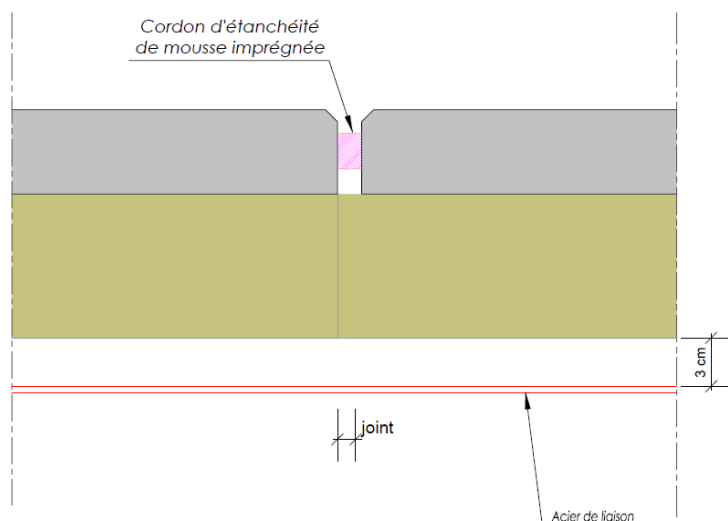
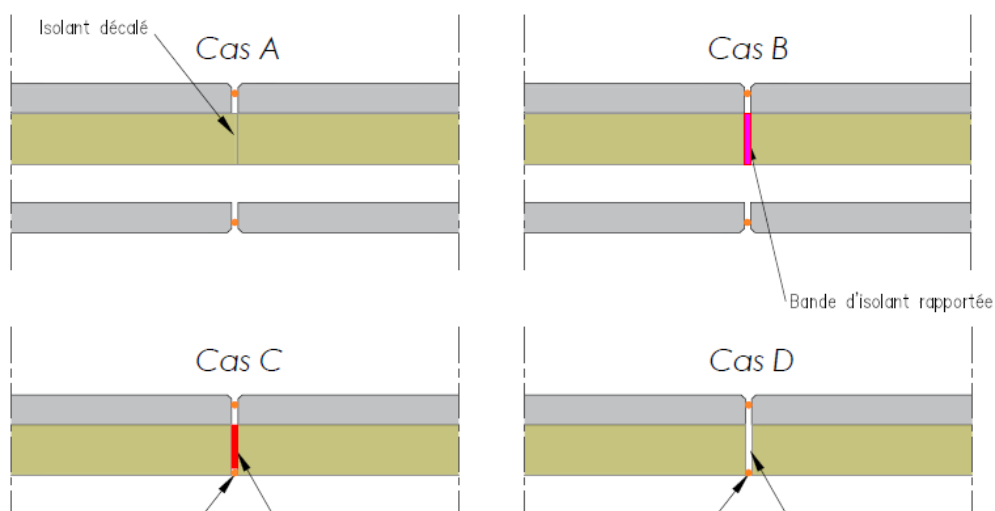


Figure 1.2.1 : Traitement du joint EXTERIEUR inaccessible face contre terre pour des locaux inhabitables

Annexe 1.3 : Traitement des joints verticaux

L'étanchéité à l'air et à l'écoulement de laitance de béton entre deux plaques d'isolant au droit du joint est assurée suivant le cas retenu : voir Article 3.122

- Par le dépassement de l'isolant de la paroi extérieure des Inov'Mur⁽¹⁾, (Cas A)
- Par une bande isolante compressible, (Cas B)
- Par de la mousse de polyuréthane mise en œuvre après pose de l'Inov'Mur⁽¹⁾, (Cas C)
- Par un Compriband mis en œuvre sur la tranche de l'isolant à l'avancement de la pose des Inov'Mur⁽¹⁾, (Cas D)



L'étanchéité est réalisée par un joint en croix du joint ILLMOD 600 ou équivalent.

L'étanchéité sur l'épaisseur de la paroi extérieure est réalisée par la mise en place du joint ILLMOD 600 ou équivalent sur le chant de la paroi extérieure contre l'isolant (voir figure 1.3.1).

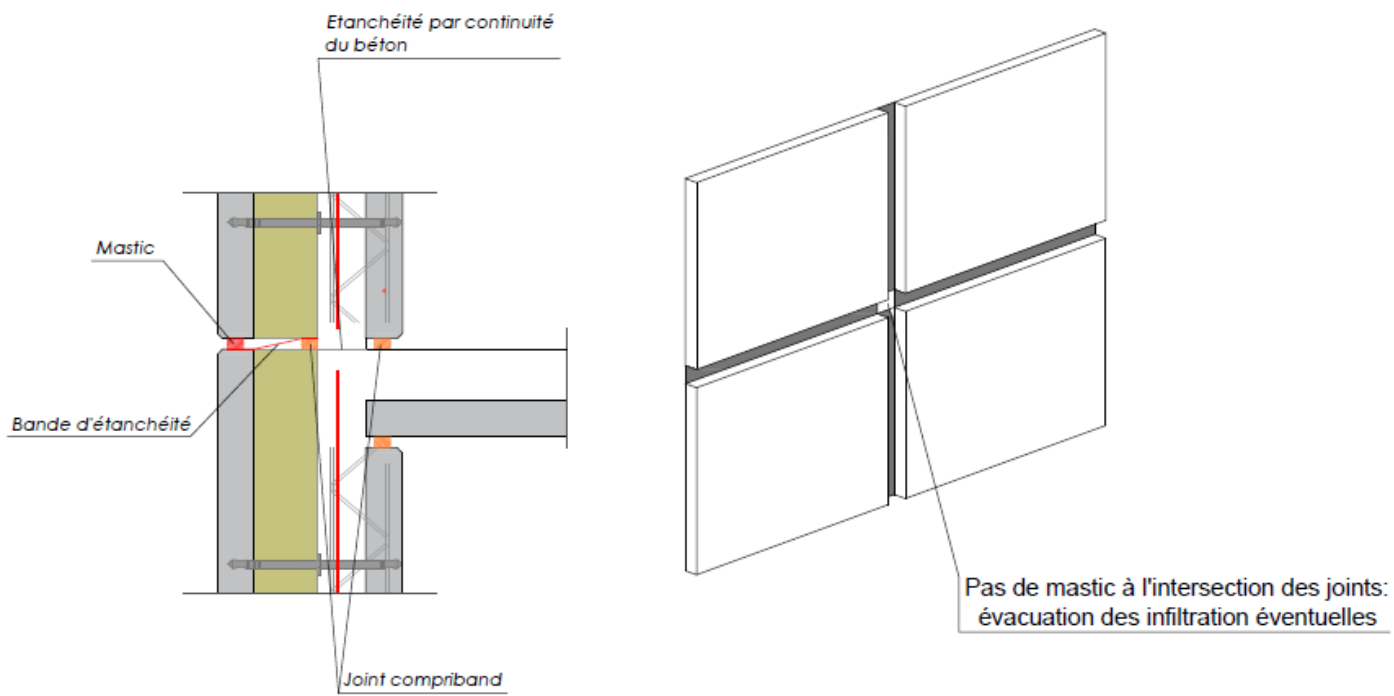
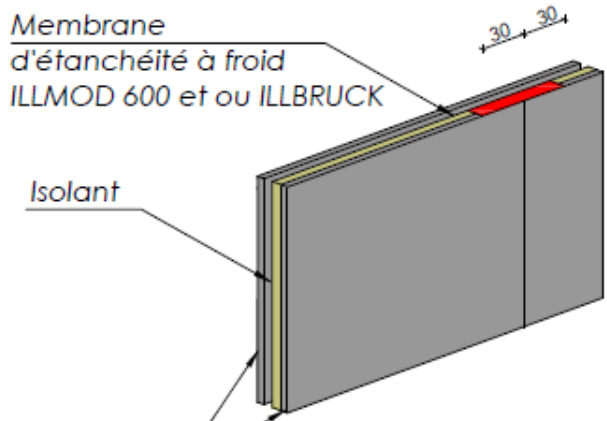


Figure 1.3.1 : Traitement des joints verticaux et horizontaux

Annexe 2 : Vérification des connecteurs en matériaux composite

Annexe 2.1 : Résistance caractéristique au cisaillement

Cette annexe permet de déterminer la loi de comportement de la valeur caractéristique en cisaillement des connecteurs en fonction de l'épaisseur de l'isolant mis en œuvre, d'après les essais n° 3013.1.C et n° 3013.2.B.

Les résistances caractéristiques en cisaillement P_{rd} pour le dimensionnement des connecteurs :

Épaisseur d'isolant	[cm]	10	11	12	13	14	15	18	20	22	24	25
Résistance P_{rk}	[daN]	245	235	226	218	212	207	194	188	182	178	176
Résistance de calcul P_{rd}	[daN]	102	98	94	91	88	86	81	78	76	74	73
Résistance de calcul situation sismique $P_{rd\ sismique}$	[daN]	82	78	75	73	71	69	65	63	61	59	59

Annexe 2.2 : Evaluation de la raideur en cisaillement des connecteurs en fonction de l'isolant mis en œuvre

Cette annexe permet d'évaluer la raideur des connecteurs en fonction de l'épaisseur de l'isolant mis en œuvre, d'après les essais N°3013.1.Cet N°3013.2.B.

La raideur des connecteurs intervient dans deux types de vérifications :

- Vérification de la résistance des connecteurs sous déplacement imposé (dilatation). Le fait de prendre une raideur plus grande va dans le sens de la sécurité sous déplacement imposé (dilatation par exemple) → l'effort calculé dans le connecteur sera plus important pour un même déplacement imposé.
- Vérification de la largeur du joint extérieur sous effort imposé : Quand on veut limiter le déplacement de la paroi extérieure sous un effort imposé (effort de séisme par exemple), le fait de prendre une raideur de calcul plus grande que la raideur réelle ne va pas dans le sens de la sécurité car on va alors trouver des déplacements de calculs plus faibles que les déplacements réels. On retient alors une largeur de joint trop faible par rapport aux déplacements réels.

Nous retenons au final les raideurs en cisaillement suivantes pour le dimensionnement des connecteurs en résistance au cisaillement :

Epaisseur Isolant (cm)	10	11	12	13	14	15	18	20	22	24	25
Raideur Caractéristique maximum (kN/m)	489	376	298	242	200	169	113	92	78	68	64

Nous retenons au final les raideurs en cisaillement suivantes pour le dimensionnement de la largeur du joint extérieur :

Epaisseur Isolant (cm)	10	11	12	13	14	15	18	20	22	24	25
Raideur Caractéristique minimum (kN/m)	361	278	220	179	148	126	84	68	58	51	48

Annexe 3 : Principe de Vérification des Suspentes Inox

Annexe 3.1 : Principe de calcul

Dans le cas de la vérification par la méthode élastique, la contrainte finale considérée dans les suspentes est comparée à la valeur caractéristique de l'acier $f_e=650$ MPa, avec un coefficient de sécurité de 1,15 sur le matériau.

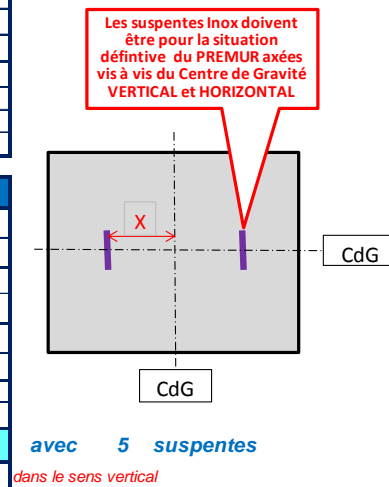
Pour la justification de celles-ci, l'angle des suspentes avec la verticale est pris égal à 45° dans les cas courants.

En situation provisoire, lors de la mise en place de l'Inov'Mur⁽¹⁾ immédiatement supérieur, le poids de la paroi extérieure de ce dernier peut être appliqué sur l'Inov'Mur⁽¹⁾ de l'étage N-1 par calage provisoire.

Dans ce cas, nous vérifions donc les suspentes de cet Inov'Mur⁽¹⁾, sous le poids propre de la paroi extérieure des deux Inov'Mur⁽¹⁾.

Exemple de vérification des suspentes Inox.

CALCUL des SUSPENTES INOX des PREMURS ISOLANT				02/09/2016	
SUIVANT Document du CSTB n° 246-1 de Janvier 1984					
Chantier					
Prémur					
HYPOTHESES GENERALES					
Masse Volumique du Béton	2 450	kg/m3			
Majoration du Poids Nominal de la Peau	1,35	Maitrisé			
Déplacement Maxi	50	* 10 ⁻⁵			
Diamètre des Suspentes	8,00	mm			
Section des Suspentes	0,50	cm ²			
Suspentes en FeE	650	MPa			
Module d'Young des Suspentes	200 000	MPa			
METHODE CLASSIQUE ELASTIQUE					
Hauteur du Panneau	3,40	m			
Largeur du Panneau	6,30	m			
Epaisseur de la Peau Extérieure	7,00	cm			
Epaisseur de l'isolant	120	mm			
Nombre de Suspentes	5	Unités			
Panneaux Superposés : Non = 0; OUI = Hauteur en m		m			
Poids Propre de la Peau Extérieure ... NON Majorée	3 674	daN			
Poids Propre de la Peau Extérieure Majorée	4 959	daN			
Contrainte de Suspension sur les Suspentes ... σ_1	207	MPa			
Distance Suspente vis-à-vis axe de Dilatation (X)	1,80	m			
Angle α des Suspentes avec la Verticale	45	°			
Déplacement Relatif pour 50 * 10 ⁻⁵ x L	0,90	mm			
Cosinus α	0,707				
Sinus α	0,707				
Contrainte Maximale Thermique ... σ_2	132	MPa			
σ_1	207	Mpa			
σ_2	132	Mpa			
$\sigma_{ELU} = \sigma_1 * 1,35 + 1,5 * \sigma_2$	477	Mpa	σ_{limite}	565	OK



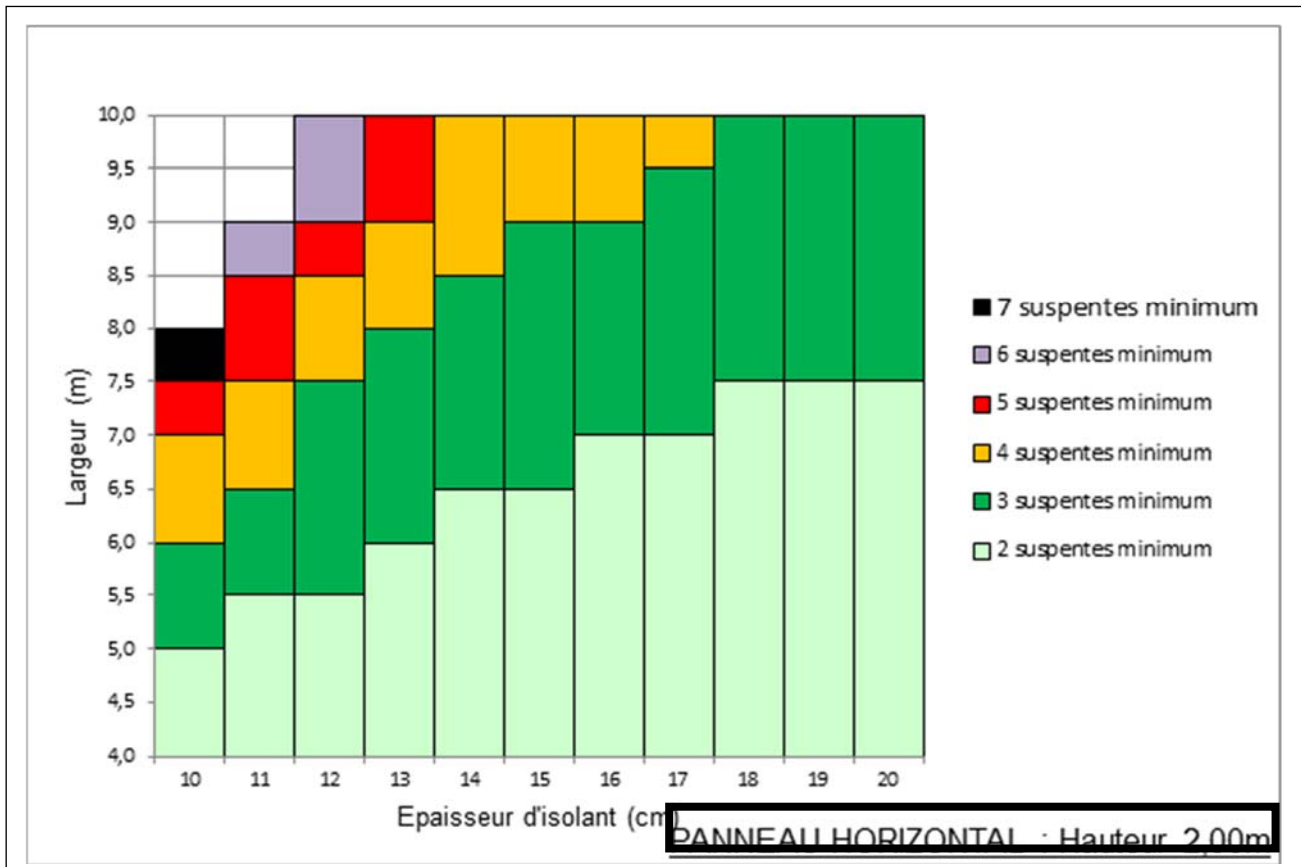
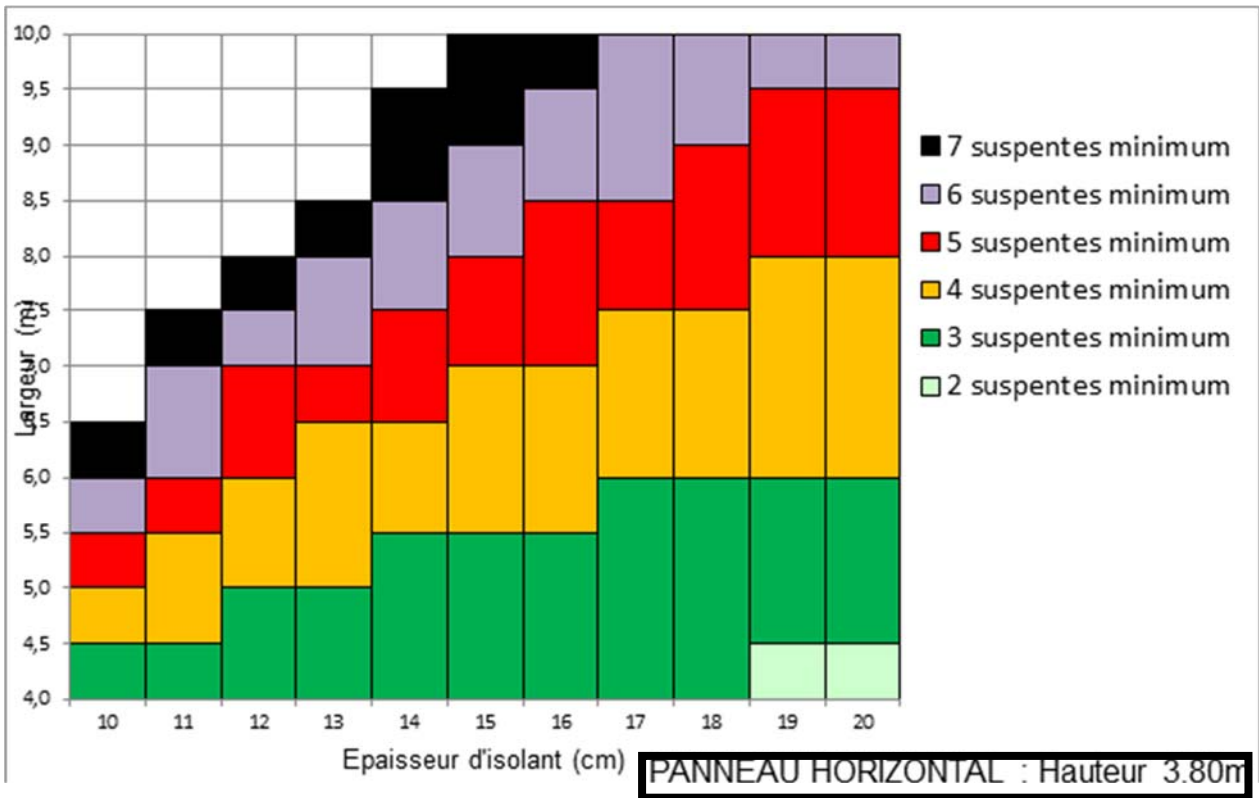
avec les coefficient de sécurité de :

- 1,35 sur le poids propre de la paroi (considéré comme maitrisé),
- 1,50 sur les actions variables de la dilatation,
- 1,15 sur le matériau acier.

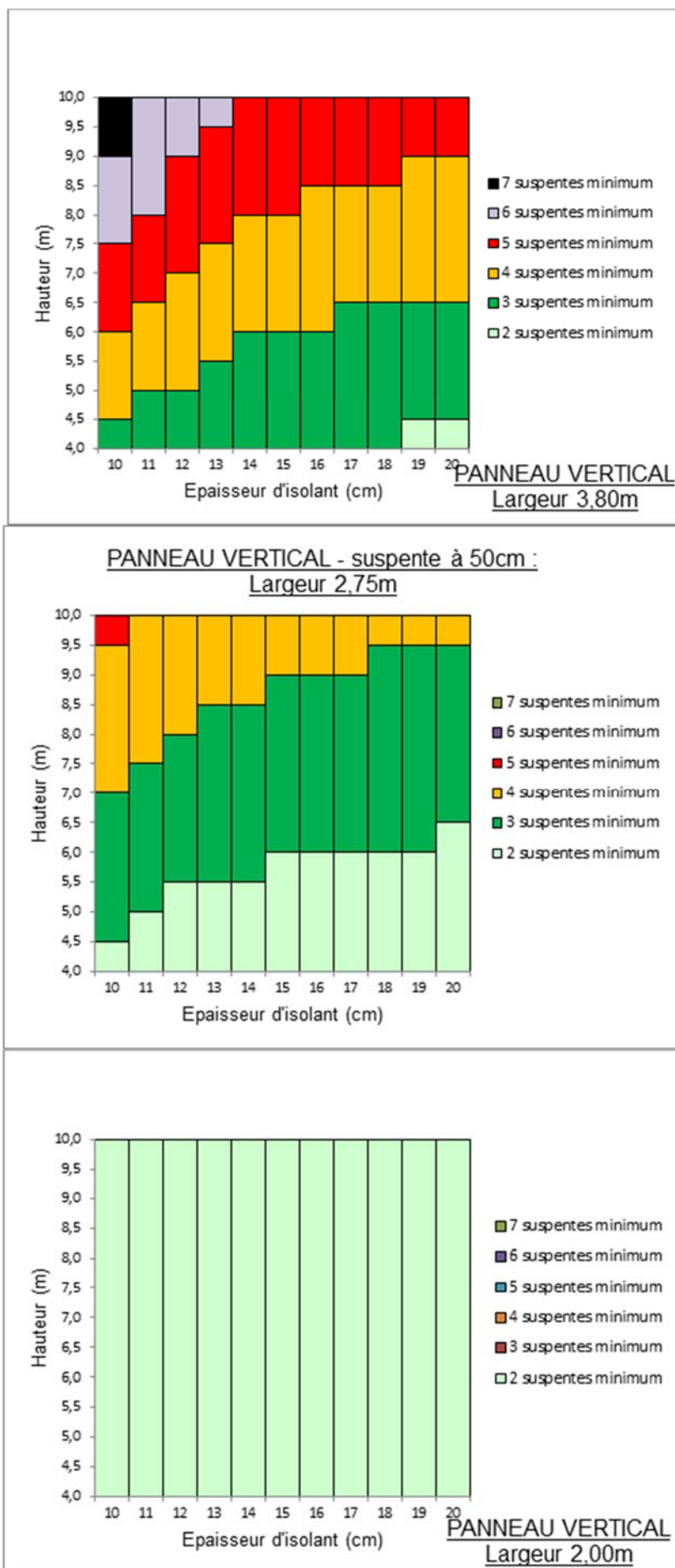
Caractéristiques de l'acier inox :

- Famille d'Inox : ferritique, austénitique, Austéno-ferritique
- Limite conventionnelle d'élasticité à 0,20 % (InE) : 650 MPa

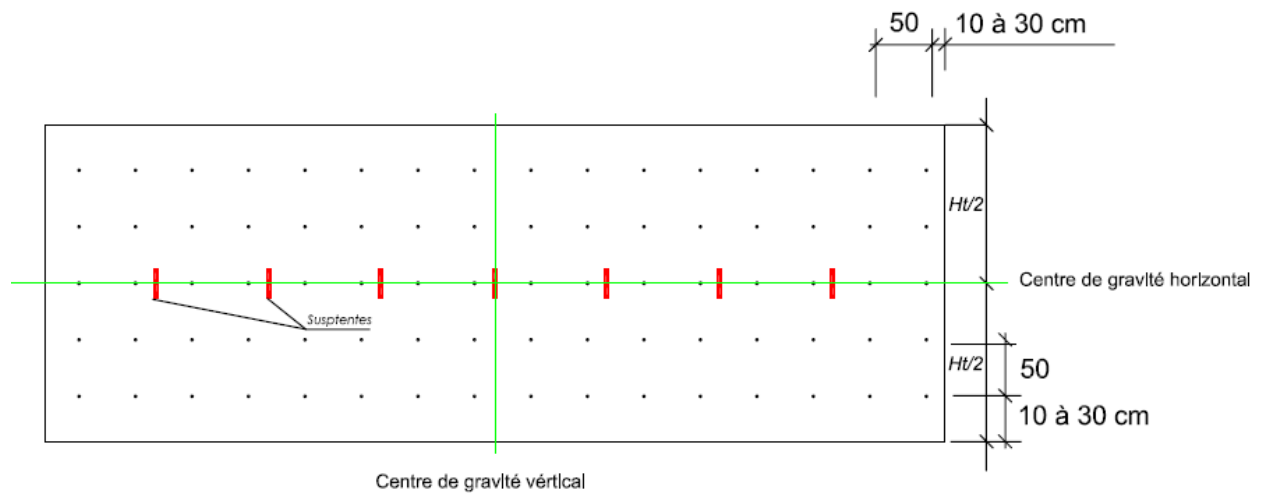
Annexe 3.2.1 : *Inov'Mur*⁽¹⁾ HORIZONTAL :



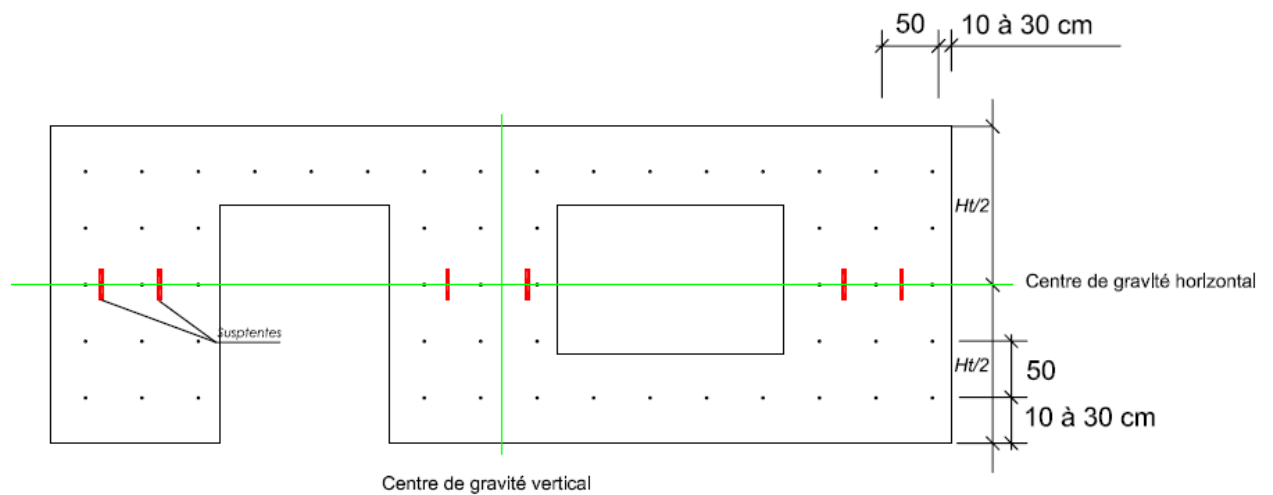
Annexe 3.2.2 : Inov'Mur⁽ⁱ⁾ VERTICAL :



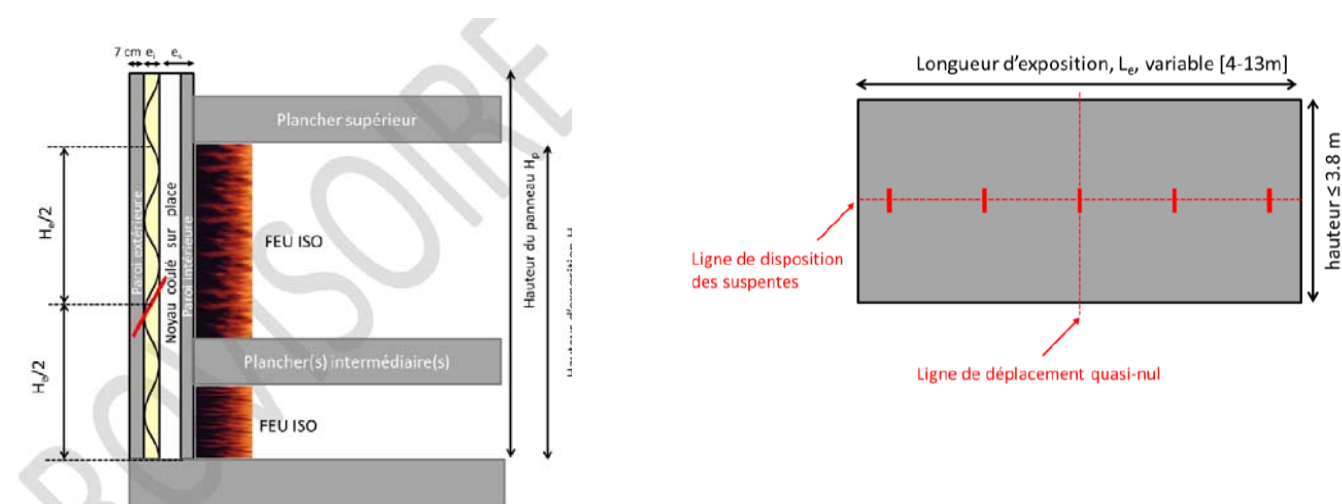
Annexe 3.3.1 : Exemple de positionnement des connecteurs et suspentes sur un panneau plein



Annexe 3.3.2 : Exemple de positionnement des connecteurs et suspentes sur un panneau avec ouvertures



Annexe 4 : Détermination de la température dans les Inov'Mur⁽¹⁾ (conformément aux Appréciations de laboratoire n° 020644 et n° 024686 délivrées par le CERIB)



A 120 min			
Épaisseur e_s (cm)	Épaisseur noyau (cm)	Longueur de la suspente ancrée dans le noyau et inclinée à 40° (cm)	Effort retenu (doit être inférieur ou égal à la résistance de la suspente) (kN)
15	9	14.00	16.00
20	14	21.78	28.40
25	19	29.56	32.67
30	24	37.34	32.67
35	29	45.12	32.67

A 90 min			
Épaisseur e_s (cm)	Épaisseur noyau (cm)	Longueur de la suspente ancrée dans le noyau et inclinée à 40° (cm)	Effort retenu (doit être inférieur ou égal à la résistance de la suspente) (kN)
15	9	14.00	18.74
20	14	21.78	30.14
25	19	29.56	32.67
30	24	37.34	32.67
35	29	45.12	32.67

A 60 min			
Épaisseur e_s (cm)	Épaisseur noyau (cm)	Longueur de la suspente ancrée dans le noyau et inclinée à 40° (cm)	Effort retenu (doit être inférieur ou égal à la résistance de la suspente) (kN)
15	9	14.00	20.11
20	14	21.78	31.51
25	19	29.56	32.67
30	24	37.34	32.67
35	29	45.12	32.67

Annexe 4.1 : Température dans les Inov'Mur⁽¹⁾ pour une exposition de 60 minutes – Hypothèses de calcul : INCENDIE CONVENTIONNEL ISO 384

Températures dans la paroi intérieure des Inov'Mur⁽¹⁾ après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – Suivant Eurocodes															
Distance à la face exposée cm	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	7,50	10	12	15	18	20	23	25	30
Epaisseur Partie Structurale cm	15	896	676	508	384	290	218	120	75	58	45				
	18	896	673	505	381	286	214	118	75	52	35	30			
	20	896	675	505	381	286	214	118	75	52	34	26	25		
	23	896	673	503	378	283	212	116	74	51	34	25	22	22	
	25	896	673	503	378	283	212	116	74	51	34	25	22	21	21
	30	896	672	502	377	282	210	116	74	48	34	25	22	21	21

Annexe 4.2 : Température dans les Inov'Mur⁽¹⁾ pour une exposition de 90 minutes – Hypothèses de calcul : INCENDIE CONVENTIONNEL ISO 384

Températures dans la paroi intérieure des Inov'Mur⁽¹⁾ après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – Suivant Eurocodes															
Distance à la face exposée cm	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	7,50	10	12	15	18	20	23	25	30
Epaisseur Partie Structurale cm	15	970	773	612	488	388	310	183	115	95	77				
	18	970	770	609	483	383	304	176	113	85	59	50			
	20	970	770	609	483	383	304	176	112	79	55	42	39		
	23	970	770	607	479	379	300	172	110	78	54	37	32	29	
	25	970	770	607	479	379	300	172	110	78	54	37	31	26	25
	30	970	769	606	479	379	300	172	110	78	54	37	31	25	23

Annexe 4.3 : Température dans les Inov'Mur⁽¹⁾ pour une exposition de 120 minutes – Hypothèses de calcul : INCENDIE CONVENTIONNEL ISO 384

Températures dans la paroi intérieure des Inov'Mur⁽¹⁾ après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – Suivant Eurocodes															
Distance à la face exposée cm	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	7,50	10	12	15	18	20	23	25	30
Epaisseur Partie Structurale cm	15	1021	840	687	564	463	382	245	153	126	101				
	18	1021	837	682	557	455	373	234	147	114	85	72			
	20	1021	837	682	557	455	373	234	147	111	78	62	56		
	23	1021	836	680	557	453	371	231	144	110	75	54	45	40	
	25	1021	836	680	557	453	371	231	144	109	75	53	42	35	33
	30	1021	835	679	554	452	369	230	143	107	75	52	41	32	28

D'autres champs de températures en °C pour des épaisseurs de paroi structurale de 15 à 37 cm, pour des feu ISO de 60, 90 et 120 minutes sont donnés dans la note n° 2014 CERIB 3060.

Annexe 5 : Caractéristiques thermiques de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ en fonction de l'épaisseur de l'isolant et 4 connecteurs/m²

Hypothèses de Calculs :

- o Paroi intérieure de 6 cm,
- o Paroi extérieure de 7 cm,
- o Du noyau coulé en place en tenant compte des cas A, B ou C de traitement des joints, selon l'article 3.122

$$U_p = 1 / ((b_1 + b_2) / 2,00 + b_n / 2,00 + b_i / \lambda_i) + 0,17) + nb_c \times \chi_{connecteurs} + nb_s \times \chi_{suspentes}$$

Des tableaux ci-dessous permettent de donner le R ou U d'un mur. Par contre le fabricant ou le BET Thermique du projet peuvent calculer d'autres valeurs R ou U d'un mur à base d'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ suivant les bases de calcul définies ci-dessus.

Annexe 5.1 : Caractéristiques thermiques et largeur structurelle pour du POLYSTYRENE – $\lambda = 0,038 \text{ W} / (\text{m.K})$

λ Isolant	0,038	W/m . K																
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
35	Up	W/m ² . K	0,345	0,317	0,294	0,273	0,255											
	Ri	m ² .K/W	2,63	2,89	3,16	3,42	3,68											
	R ₊	m ² .K/W	2,93	3,18	3,44	3,70	3,96											
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029											
	X suspentes	W/m ² .K	0,00590	0,00541	0,00506	0,00471	0,00436											
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00											
	Largeur Structurelle	cm	18	17	16	15	14											
40	Up	W/m ² . K	0,342	0,315	0,291	0,271	0,254	0,238	0,225	0,212	0,202	0,192						
	Ri	m ² .K/W	2,63	2,89	3,16	3,42	3,68	3,95	4,21	4,47	4,74	5,00						
	R ₊	m ² .K/W	2,95	3,21	3,47	3,73	3,98	4,24	4,50	4,76	5,02	5,28						
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00037	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023	0,00022						
	X suspentes	W/m ² .K	0,00678	0,00631	0,00589	0,00553	0,00521	0,00492	0,00467	0,00443	0,00422	0,00403						
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00						
	Largeur Structurelle	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14						
45	Up	W/m ² . K	0,339	0,312	0,289	0,269	0,252	0,237	0,223	0,211	0,201	0,191	0,182	0,174	0,166	0,160	0,153	
	Ri	m ² .K/W	2,63	2,89	3,16	3,42	3,68	3,95	4,21	4,47	4,74	5,00	5,26	5,53	5,79	6,05	6,32	
	R ₊	m ² .K/W	2,98	3,23	3,49	3,75	4,01	4,27	4,53	4,78	5,04	5,30	5,56	5,82	6,07	6,33	6,59	
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00037	0,00034	0,00032	0,00030	0,00028	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018	0,00018
	X suspentes	W/m ² .K	0,00667	0,00621	0,00581	0,00546	0,00515	0,00487	0,00462	0,00439	0,00418	0,00400	0,00382	0,00367	0,00352	0,00339	0,00326	
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00	
	Largeur Structurelle	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	
50	Up	W/m ² . K	0,337	0,310	0,287	0,268	0,251	0,235	0,222	0,210	0,200	0,190	0,181	0,173	0,166	0,159	0,153	0,147
	Ri	m ² .K/W	2,63	2,89	3,16	3,42	3,68	3,95	4,21	4,47	4,74	5,00	5,26	5,53	5,79	6,05	6,32	6,58
	R ₊	m ² .K/W	3,00	3,26	3,52	3,78	4,03	4,29	4,55	4,81	5,07	5,33	5,58	5,84	6,10	6,36	6,62	6,87
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00036	0,00034	0,00032	0,00030	0,00028	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018	0,00017
	X suspentes	W/m ² .K	0,00656	0,00612	0,00573	0,00539	0,00508	0,00481	0,00456	0,00434	0,00414	0,00396	0,00379	0,00364	0,00349	0,00336	0,00324	0,00313
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00
	Largeur Structurelle	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18

La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sans l'effet du 1/hi+1/he

Annexe 5.2 : Caractéristiques thermiques et largeur structurelle pour du POLYSTYRENE – $\lambda = 0,032 \text{ W} / (\text{m.K})$

λ Isolant	0,032	W/m . K																
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
35	Up	W/m ² . K	0,296	0,272	0,251	0,233	0,218											
	Ri	m ² .K/W	3,13	3,44	3,75	4,06	4,38											
	R ₊	m ² .K/W	3,42	3,73	4,04	4,34	4,65											
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00039	0,00036	0,00034	0,00032	0,00030											
	X suspentes	W/m ² .K	0,00712	0,00660	0,00614	0,00574	0,00539											
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00											
	Largeur Structurelle	cm	18	17	16	15	14											
40	Up	W/m ² . K	0,294	0,270	0,249	0,232	0,217	0,203	0,192	0,181	0,172	0,163						
	Ri	m ² .K/W	3,13	3,44	3,75	4,06	4,38	4,69	5,00	5,31	5,63	5,94						
	R ₊	m ² .K/W	3,45	3,75	4,06	4,37	4,68	4,98	5,29	5,60	5,91	6,21						
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00039	0,00036	0,00033	0,00031	0,00029	0,00028	0,00026	0,00025	0,00024	0,00023						
	X suspentes	W/m ² .K	0,00702	0,00651	0,00606	0,00568	0,00534	0,00503	0,00476	0,00452	0,00430	0,00410						
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00						
	Largeur Structurelle	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14						
45	Up	W/m ² . K	0,292	0,268	0,248	0,231	0,216	0,202	0,191	0,180	0,171	0,162	0,155	0,148	0,142	0,136	0,130	
	Ri	m ² .K/W	3,13	3,44	3,75	4,06	4,38	4,69	5,00	5,31	5,63	5,94	6,25	6,56	6,88	7,19	7,50	
	R ₊	m ² .K/W	3,47	3,78	4,09	4,39	4,70	5,01	5,32	5,62	5,93	6,24	6,55	6,85	7,16	7,47	7,78	
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00025	0,00024	0,00022	0,00021	0,00021	0,00020	0,00019	0,00018	
	X suspentes	W/m ² .K	0,00692	0,00642	0,00599	0,00561	0,00528	0,00498	0,00472	0,00448	0,00426	0,00407	0,00389	0,00373	0,00357	0,00344	0,00331	
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00	
	Largeur Structurelle	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	
50	Up	W/m ² . K	0,290	0,266	0,246	0,229	0,214	0,201	0,190	0,179	0,170	0,162	0,154	0,147	0,141	0,135	0,130	0,125
	Ri	m ² .K/W	3,13	3,44	3,75	4,06	4,38	4,69	5,00	5,31	5,63	5,94	6,25	6,56	6,88	7,19	7,50	7,81
	R ₊	m ² .K/W	3,50	3,80	4,11	4,42	4,73	5,03	5,34	5,65	5,96	6,26	6,57	6,88	7,19	7,49	7,80	8,11
	X connecteurs	W/m ² .K	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00020	0,00019	0,00018	0,00017
	X suspentes	W/m ² .K	0,00682	0,00634	0,00592	0,00555	0,00522	0,00493	0,00467	0,00444	0,00423	0,00404	0,00386	0,00370	0,00355	0,00341	0,00329	0,00317
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00
	Largeur Structurelle	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18

La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sans l'effet du 1/hi+1/he

Annexe 5.3 : Caractéristiques thermiques et largeur structurale pour du POLYSTYRENE – $\lambda = 0,030 \text{ W / (m.K)}$

λ Isolant	0,030	W/m . K																	
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
35	Up	W/m ² . K	0,279	0,256	0,237	0,220	0,205												
	Ri	m ² .K/W	3,33	3,67	4,00	4,33	4,67												
	R _T	m ² .K/W	3,63	3,96	4,29	4,61	4,94												
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00034	0,00032	0,00030												
	X suspendes	W/m *K	0,00720	0,00666	0,00619	0,00575	0,00543												
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00												
	Largeur Structurale	cm	18	17	16	15	14												
40	Up	W/m ² . K	0,277	0,255	0,235	0,219	0,204	0,191	0,180	0,170	0,161	0,153							
	Ri	m ² .K/W	3,33	3,67	4,00	4,33	4,67	5,00	5,33	5,67	6,00	6,33							
	R _T	m ² .K/W	3,65	3,98	4,31	4,64	4,97	5,30	5,62	5,95	6,28	6,61							
	X connecteurs	W/m *K	0,00039	0,00036	0,00034	0,00032	0,00030	0,00028	0,00026	0,00025	0,00024	0,00023							
	X suspendes	W/m *K	0,00710	0,00658	0,00612	0,00573	0,00538	0,00507	0,00480	0,00455	0,00433	0,00412							
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00							
	Largeur Structurale	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14							
45	Up	W/m ² . K	0,276	0,253	0,234	0,217	0,203	0,191	0,180	0,170	0,161	0,153	0,146	0,139	0,133	0,128	0,123		
	Ri	m ² .K/W	3,33	3,67	4,00	4,33	4,67	5,00	5,33	5,67	6,00	6,33	6,67	7,00	7,33	7,67	8,00		
	R _T	m ² .K/W	3,68	4,01	4,34	4,66	4,99	5,32	5,65	5,98	6,31	6,63	6,96	7,29	7,62	7,95	8,28		
	X connecteurs	W/m *K	0,00039	0,00036	0,00033	0,00031	0,00029	0,00028	0,00026	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00018		
	X suspendes	W/m *K	0,00701	0,00649	0,00605	0,00567	0,00533	0,00502	0,00475	0,00451	0,00429	0,00409	0,00391	0,00375	0,00359	0,00345	0,00332		
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00		
	Largeur Structurale	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14		
50	Up	W/m ² . K	0,274	0,251	0,232	0,216	0,202	0,190	0,179	0,169	0,160	0,152	0,145	0,139	0,133	0,127	0,122	0,118	
	Ri	m ² .K/W	3,33	3,67	4,00	4,33	4,67	5,00	5,33	5,67	6,00	6,33	6,67	7,00	7,33	7,67	8,00	8,33	
	R _T	m ² .K/W	3,70	4,03	4,36	4,69	5,02	5,35	5,67	6,00	6,33	6,66	6,99	7,32	7,64	7,97	8,30	8,63	
	X connecteurs	W/m *K	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00025	0,00023	0,00022	0,00021	0,00021	0,00020	0,00019	0,00018	0,00018	
	X suspendes	W/m *K	0,00691	0,00641	0,00598	0,00561	0,00527	0,00498	0,00471	0,00447	0,00426	0,00406	0,00388	0,00372	0,00357	0,00343	0,00330	0,00318	
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	
	Largeur Structurale	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	

La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sans l'effet du 1/hi+1/he

Annexe 5.4 : Caractéristiques thermiques et largeur structurale pour du POLYURETHANE – $\lambda = 0,024 \text{ W / (m.K)}$

λ Isolant	0,024	W/m . K																	
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
35	Up	W/m ² . K	0,228	0,209	0,193	0,179	0,167												
	Ri	m ² .K/W	4,17	4,58	5,00	5,42	5,83												
	R _T	m ² .K/W	4,46	4,87	5,29	5,70	6,11												
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031												
	X suspendes	W/m *K	0,00744	0,00686	0,00636	0,00593	0,00556												
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00												
	Largeur Structurale	cm	18	17	16	15	14												
40	Up	W/m ² . K	0,227	0,208	0,192	0,178	0,166	0,155	0,146	0,138	0,131	0,124							
	Ri	m ² .K/W	4,17	4,58	5,00	5,42	5,83	6,25	6,67	7,08	7,50	7,92							
	R _T	m ² .K/W	4,49	4,90	5,31	5,72	6,13	6,55	6,96	7,37	7,78	8,19							
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00037	0,00035	0,00032	0,00030	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023							
	X suspendes	W/m *K	0,00736	0,00679	0,00630	0,00588	0,00551	0,00519	0,00490	0,00464	0,00440	0,00419							
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00							
	Largeur Structurale	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14							
45	Up	W/m ² . K	0,225	0,207	0,191	0,177	0,165	0,155	0,146	0,138	0,130	0,124	0,118	0,113	0,108	0,103	0,099		
	Ri	m ² .K/W	4,17	4,58	5,00	5,42	5,83	6,25	6,67	7,08	7,50	7,92	8,33	8,75	9,17	9,58	10,00		
	R _T	m ² .K/W	4,51	4,92	5,34	5,75	6,16	6,57	6,98	7,39	7,81	8,22	8,63	9,04	9,45	9,86	10,28		
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00034	0,00032	0,00030	0,00028	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019		
	X suspendes	W/m *K	0,00728	0,00672	0,00624	0,00583	0,00547	0,00515	0,00486	0,00461	0,00438	0,00417	0,00398	0,00381	0,00365	0,00350	0,00337		
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00		
	Largeur Structurale	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14		
50	Up	W/m ² . K	0,224	0,206	0,190	0,176	0,165	0,154	0,145	0,137	0,130	0,123	0,118	0,112	0,107	0,103	0,099	0,095	
	Ri	m ² .K/W	4,17	4,58	5,00	5,42	5,83	6,25	6,67	7,08	7,50	7,92	8,33	8,75	9,17	9,58	10,00	10,42	
	R _T	m ² .K/W	4,54	4,95	5,36	5,77	6,18	6,60	7,01	7,42	7,83	8,24	8,65	9,07	9,48	9,89	10,30	10,71	
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00034	0,00032	0,00030	0,00028	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00018	0,00018	
	X suspendes	W/m *K	0,00720	0,00665	0,00619	0,00578	0,00542	0,00511	0,00483	0,00457	0,00435	0,00414	0,00396	0,00378	0,00363	0,00348	0,00335	0,00323	
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	
	Largeur Structurale	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	

La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sans l'effet du 1/hi+1/he

Annexe 5.5 : Caractéristiques thermiques et largeur structurelle pour du POLYURETHANE – $\lambda = 0,023 \text{ W / (m.K)}$

λ isolant	0,023		W/m . K																						
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25							
35	Up	W/m ² .K	0,219	0,201	0,185	0,172	0,160																		
	Ri	m ² .K/W	4,35	4,78	5,22	5,65	6,09																		
	R _T	m ² .K/W	4,64	5,07	5,50	5,93	6,36																		
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031																		
	X suspentes	W/m *K	0,00748	0,00689	0,00639	0,00596	0,00558																		
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00																		
Largeur Structurelle	cm	18	17	16	15	14																			
40	Up	W/m ² .K	0,218	0,200	0,184	0,171	0,159	0,149	0,141	0,133	0,126	0,119													
	Ri	m ² .K/W	4,35	4,78	5,22	5,65	6,09	6,52	6,96	7,39	7,83	8,26													
	R _T	m ² .K/W	4,67	5,10	5,53	5,96	6,39	6,82	7,25	7,68	8,11	8,54													
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023													
	X suspentes	W/m *K	0,00740	0,00683	0,00633	0,00591	0,00553	0,00521	0,00491	0,00465	0,00442	0,00421													
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00													
Largeur Structurelle	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14														
45	Up	W/m ² .K	0,217	0,199	0,183	0,170	0,159	0,149	0,140	0,132	0,125	0,119	0,113	0,108	0,103	0,099	0,095								
	Ri	m ² .K/W	4,35	4,78	5,22	5,65	6,09	6,52	6,96	7,39	7,83	8,26	8,70	9,13	9,57	10,00	10,43								
	R _T	m ² .K/W	4,69	5,12	5,55	5,98	6,41	6,84	7,27	7,70	8,13	8,56	8,99	9,42	9,85	10,28	10,71								
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00035	0,00032	0,00030	0,00029	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00019							
	X suspentes	W/m *K	0,00732	0,00676	0,00628	0,00586	0,00549	0,00517	0,00488	0,00462	0,00439	0,00418	0,00399	0,00382	0,00366	0,00351	0,00337								
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00								
Largeur Structurelle	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14									
50	Up	W/m ² .K	0,216	0,198	0,183	0,169	0,158	0,148	0,140	0,132	0,125	0,119	0,113	0,108	0,103	0,099	0,095	0,091							
	Ri	m ² .K/W	4,35	4,78	5,22	5,65	6,09	6,52	6,96	7,39	7,83	8,26	8,70	9,13	9,57	10,00	10,43	10,87							
	R _T	m ² .K/W	4,72	5,15	5,58	6,01	6,44	6,87	7,30	7,73	8,16	8,59	9,02	9,45	9,88	10,31	10,73	11,16							
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00035	0,00032	0,00030	0,00029	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018							
	X suspentes	W/m *K	0,00724	0,00669	0,00622	0,00581	0,00545	0,00513	0,00485	0,00459	0,00436	0,00416	0,00397	0,00380	0,00364	0,00349	0,00336	0,00323							
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00							
Largeur Structurelle	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18								

La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sans l'effet de 1/hi+1/he

Annexe 5.6 : Caractéristiques thermiques et largeur structurelle pour du POLYURETHANE – $\lambda = 0,022 \text{ W / (m.K)}$

λ isolant	0,022		W/m . K																						
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25							
35	Up	W/m ² .K	0,211	0,193	0,178	0,165	0,154																		
	Ri	m ² .K/W	4,55	5,00	5,45	5,91	6,36																		
	R _T	m ² .K/W	4,84	5,29	5,74	6,19	6,64																		
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031																		
	X suspentes	W/m *K	0,00752	0,00693	0,00642	0,00598	0,00560																		
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00																		
Largeur Structurelle	cm	18	17	16	15	14																			
40	Up	W/m ² .K	0,209	0,192	0,177	0,164	0,153	0,143	0,135	0,127	0,120	0,114													
	Ri	m ² .K/W	4,55	5,00	5,45	5,91	6,36	6,82	7,27	7,73	8,18	8,64													
	R _T	m ² .K/W	4,87	5,32	5,76	6,21	6,66	7,11	7,56	8,01	8,46	8,91													
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023													
	X suspentes	W/m *K	0,00745	0,00686	0,00636	0,00593	0,00556	0,00522	0,00493	0,00467	0,00443	0,00422													
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00													
Largeur Structurelle	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14														
45	Up	W/m ² .K	0,208	0,191	0,176	0,163	0,152	0,143	0,134	0,127	0,120	0,114	0,109	0,104	0,099	0,095	0,091								
	Ri	m ² .K/W	4,55	5,00	5,45	5,91	6,36	6,82	7,27	7,73	8,18	8,64	9,09	9,55	10,00	10,45	10,91								
	R _T	m ² .K/W	4,89	5,34	5,79	6,24	6,69	7,14	7,59	8,04	8,49	8,94	9,39	9,84	10,29	10,73	11,18								
	X connecteurs	W/m *K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00032	0,00030	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00019							
	X suspentes	W/m *K	0,00737	0,00680	0,00631	0,00589	0,00552	0,00519	0,00490	0,00464	0,00440	0,00419	0,00400	0,00383	0,00367	0,00352	0,00338								
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00								
Largeur Structurelle	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14									
50	Up	W/m ² .K	0,207	0,190	0,175	0,163	0,152	0,142	0,134	0,126	0,120	0,114	0,108	0,103	0,099	0,095	0,091	0,087							
	Ri	m ² .K/W	4,55	5,00	5,45	5,91	6,36	6,82	7,27	7,73	8,18	8,64	9,09	9,55	10,00	10,45	10,91	11,36							
	R _T	m ² .K/W	4,92	5,37	5,81	6,26	6,71	7,16	7,61	8,06	8,51	8,96	9,41	9,86	10,31	10,76	11,21	11,66							
	X connecteurs	W/m *K	0,00040	0,00037	0,00035	0,00032	0,00030	0,00029	0,00027	0,00025	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018							
	X suspentes	W/m *K	0,00729	0,00674	0,00626	0,00584	0,00547	0,00515	0,00487	0,00461	0,00438	0,00417	0,00398	0,00381	0,00365	0,00350	0,00337	0,00324							
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00							
Largeur Structurelle	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18								

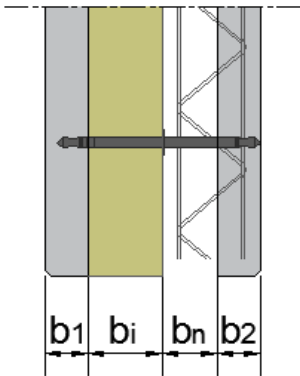
La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sans l'effet de 1/hi+1/he

Annexe 5.7 : Caractéristiques thermiques et largeur structurale pour du POLYURETHANE – $\lambda = 0,021 \text{ W / (m.K)}$

λ isolant	0,021 W/m . K																									
Largeur mur	Isolant : bi	cm	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25								
35	Up	W/m² . K	0,202	0,185	0,170	0,158	0,147																			
	Ri	m².K/W	4,76	5,24	5,71	6,19	6,67																			
	R _T	m².K/W	5,06	5,53	6,00	6,47	6,94																			
	X connecteurs	W/m .K	0,00042	0,00038	0,00036	0,00033	0,00031																			
	X suspentes	W/m .K	0,00756	0,00696	0,00645	0,00601	0,00562																			
	Largeur Noyau	cm	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00																			
Largeur Structurale	cm	18	17	16	15	14																				
40	Up	W/m² . K	0,201	0,184	0,169	0,157	0,146	0,137	0,129	0,122	0,115	0,109														
	Ri	m².K/W	4,76	5,24	5,71	6,19	6,67	7,14	7,62	8,10	8,57	9,05														
	R _T	m².K/W	5,08	5,55	6,02	6,50	6,97	7,44	7,91	8,38	8,85	9,32														
	X connecteurs	W/m .K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00025	0,00023														
	X suspentes	W/m .K	0,00749	0,00690	0,00640	0,00596	0,00558	0,00524	0,00495	0,00468	0,00444	0,00423														
	Largeur Noyau	cm	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00														
Largeur Structurale	cm	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14															
45	Up	W/m² . K	0,200	0,183	0,169	0,156	0,146	0,137	0,129	0,121	0,115	0,109	0,104	0,099	0,095	0,091	0,087									
	Ri	m².K/W	4,76	5,24	5,71	6,19	6,67	7,14	7,62	8,10	8,57	9,05	9,52	10,00	10,48	10,95	11,43									
	R _T	m².K/W	5,11	5,58	6,05	6,52	6,99	7,46	7,93	8,41	8,88	9,35	9,82	10,29	10,76	11,23	11,70									
	X connecteurs	W/m .K	0,00041	0,00038	0,00035	0,00033	0,00031	0,00029	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019									
	X suspentes	W/m .K	0,00742	0,00684	0,00634	0,00591	0,00554	0,00521	0,00492	0,00465	0,00442	0,00421	0,00401	0,00384	0,00367	0,00353	0,00339									
	Largeur Noyau	cm	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00	11,00	10,00	9,00	8,00									
Largeur Structurale	cm	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14										
50	Up	W/m² . K	0,199	0,182	0,168	0,156	0,145	0,136	0,128	0,121	0,115	0,109	0,104	0,099	0,095	0,091	0,087	0,084								
	Ri	m².K/W	4,76	5,24	5,71	6,19	6,67	7,14	7,62	8,10	8,57	9,05	9,52	10,00	10,48	10,95	11,43	11,90								
	R _T	m².K/W	5,13	5,60	6,07	6,55	7,02	7,49	7,96	8,43	8,90	9,37	9,84	10,32	10,79	11,26	11,73	12,20								
	X connecteurs	W/m .K	0,00041	0,00037	0,00035	0,00032	0,00030	0,00028	0,00027	0,00026	0,00024	0,00023	0,00022	0,00021	0,00020	0,00019	0,00019	0,00018								
	X suspentes	W/m .K	0,00734	0,00678	0,00629	0,00587	0,00550	0,00517	0,00489	0,00463	0,00439	0,00418	0,00399	0,00382	0,00366	0,00351	0,00337	0,00325								
	Largeur Noyau	cm	27,00	26,00	25,00	24,00	23,00	22,00	21,00	20,00	19,00	18,00	17,00	16,00	15,00	14,00	13,00	12,00								
Largeur Structurale	cm	33	32	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18									

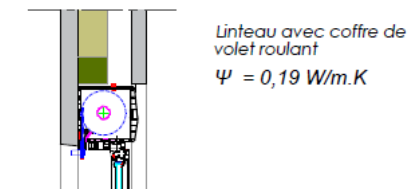
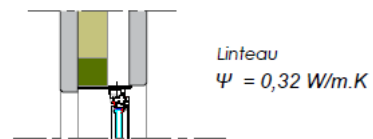
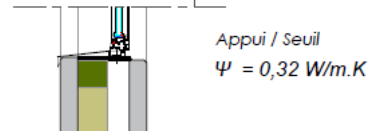
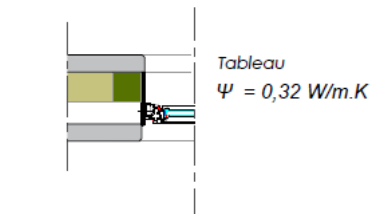
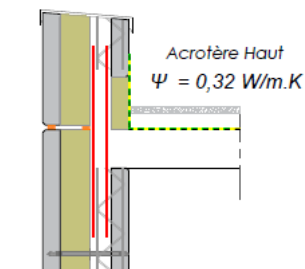
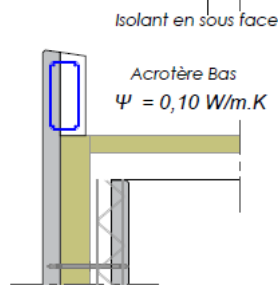
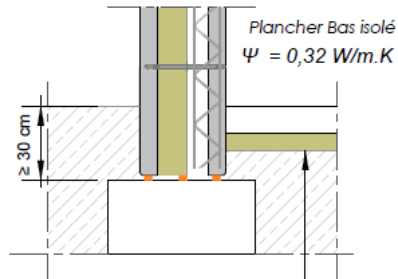
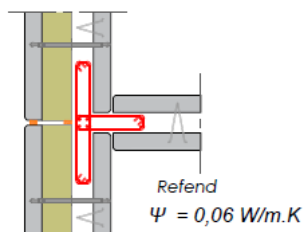
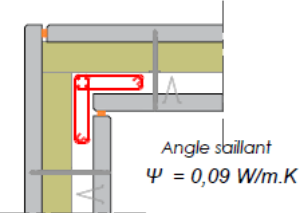
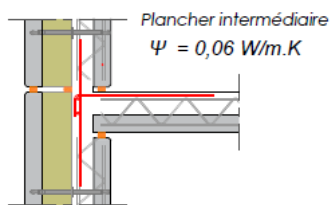
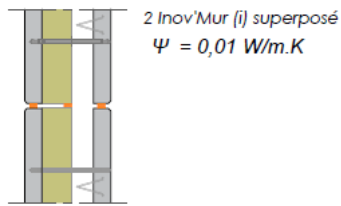
La valeur R est celle de l'Inov'Mur⁽¹⁾ sans l'effet du 1/hi+1/he

Annexe 6 : Coefficient de transmission thermique linéique des ponts thermiques de liaisons
 ψ en W/m.K **exclusivement pour le cas D de l'article 3.122**



Avec :

- b_1 (paroi extérieure) : 7 cm,
- b_n (noyau) : 8 cm Mini sauf en R+1,
- b_2 (paroi intérieure) : 6 cm,
- b_i (isolant) : 12 cm.



Annexe 7 : Poutres-voiles incorporées aux Inov'Mur⁽ⁱ⁾

Annexe 7.1 Détermination des efforts sollicitants dans la poutre-voile

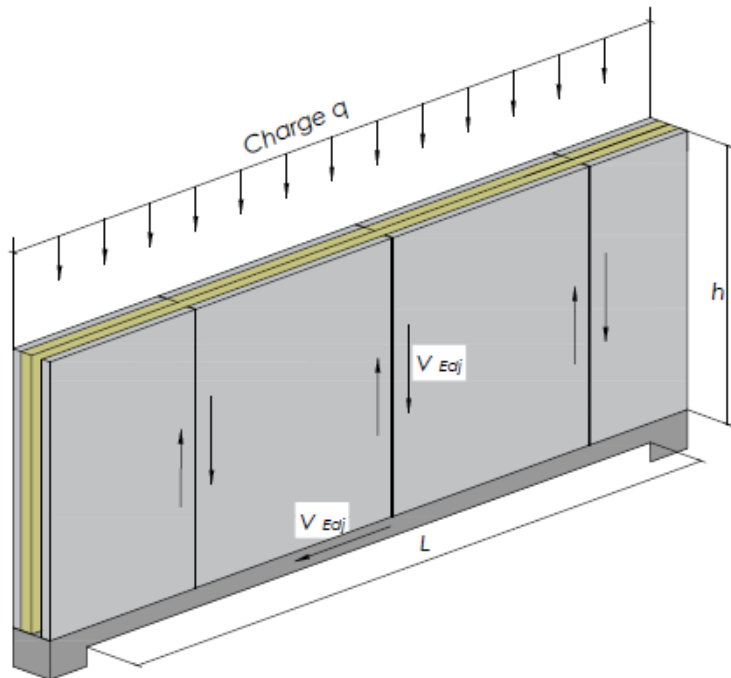


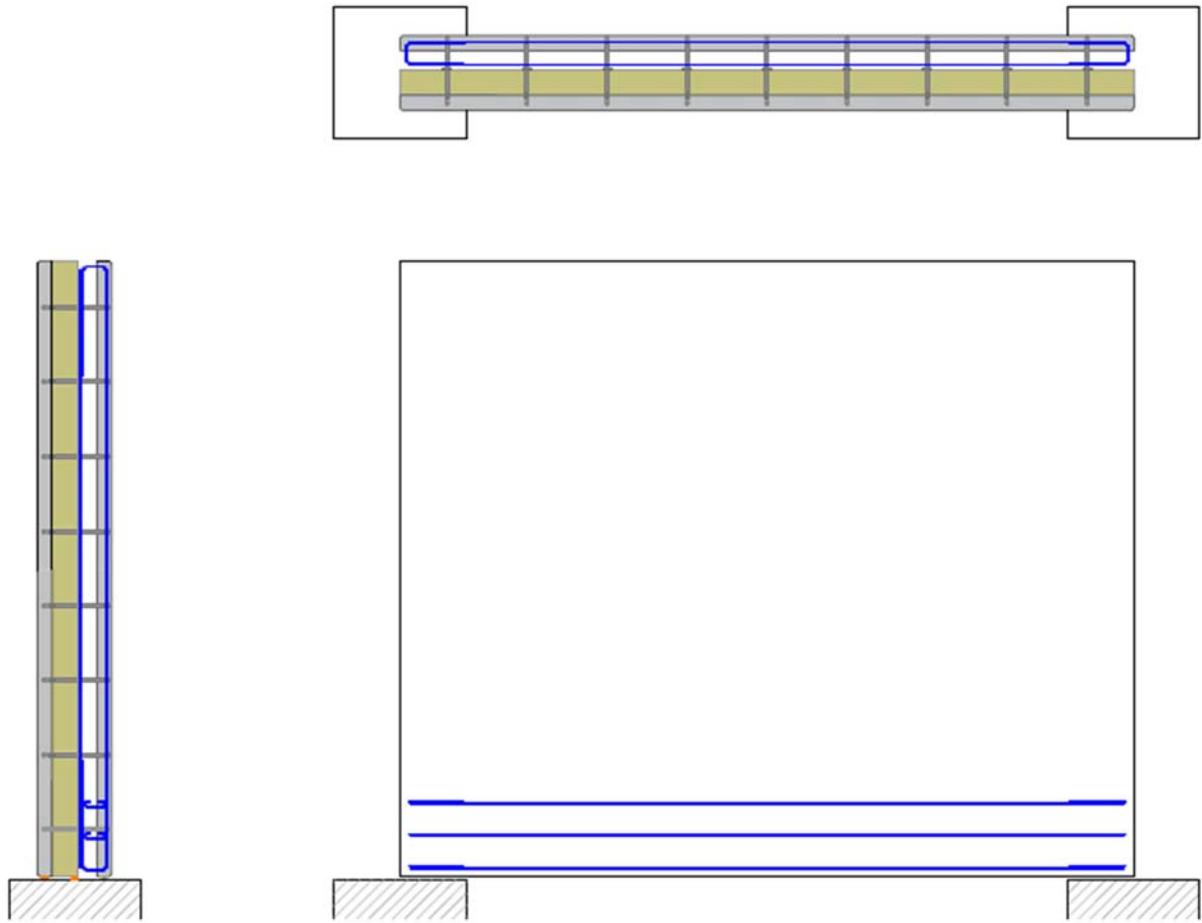
Figure 7.1.1 : Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-voile

L'effort tranchant sollicitant de calcul au niveau du joint j est tel que :

$$V_{E0j} = q \times (L/2) / \min(h; L)$$

Annexe 7.2 Principes de conception des poutres-voiles réalisées en Inov'Mur⁽¹⁾

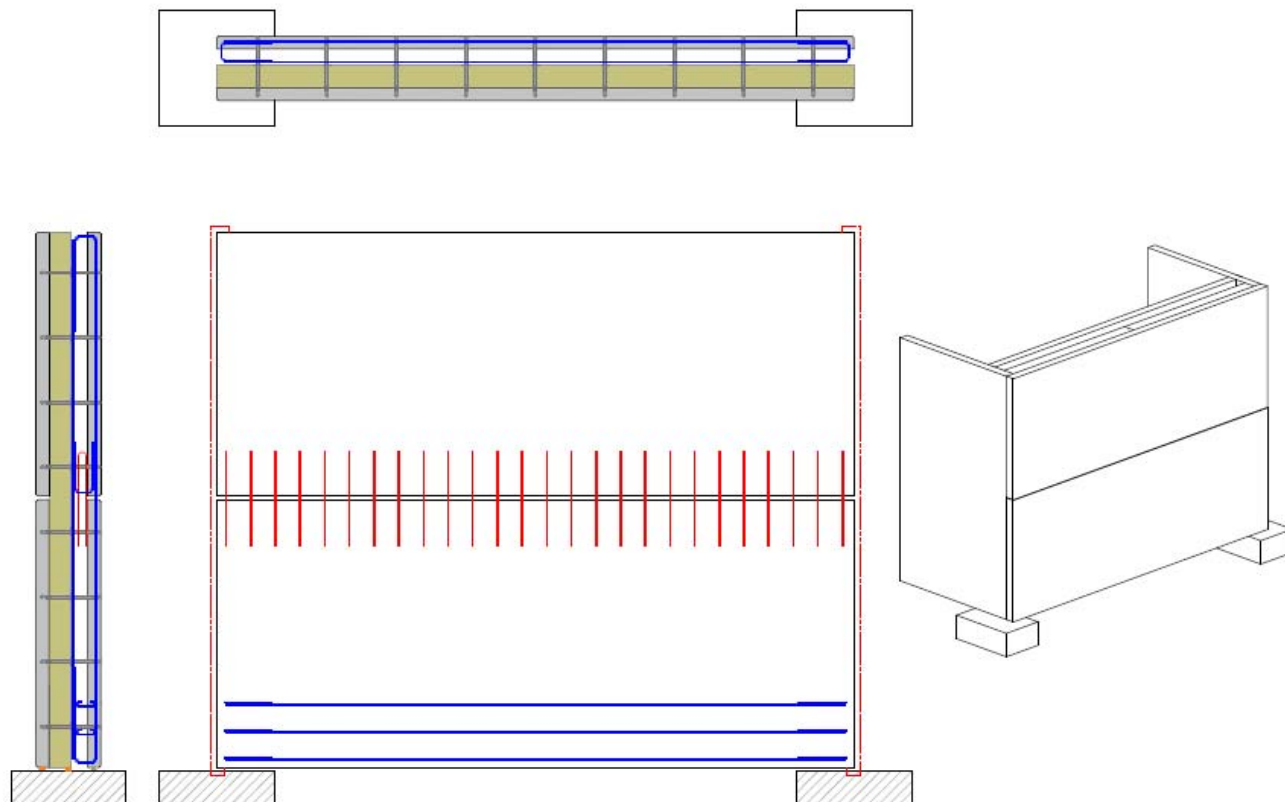
Annexe 7.2.1 : Poutre-voile réalisée en un seul tenant



Poutre-voile réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans l'Inov'Mur⁽¹⁾ :

- Cette solution ne nécessite pas de vérification particulière étant donné l'absence de joint hormis la vérification du déversement si nécessaire,
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur l'appui.

Annexe 7.2.2 : Poutre-voile réalisée avec plusieurs Inov'Mur⁽¹⁾ superposés

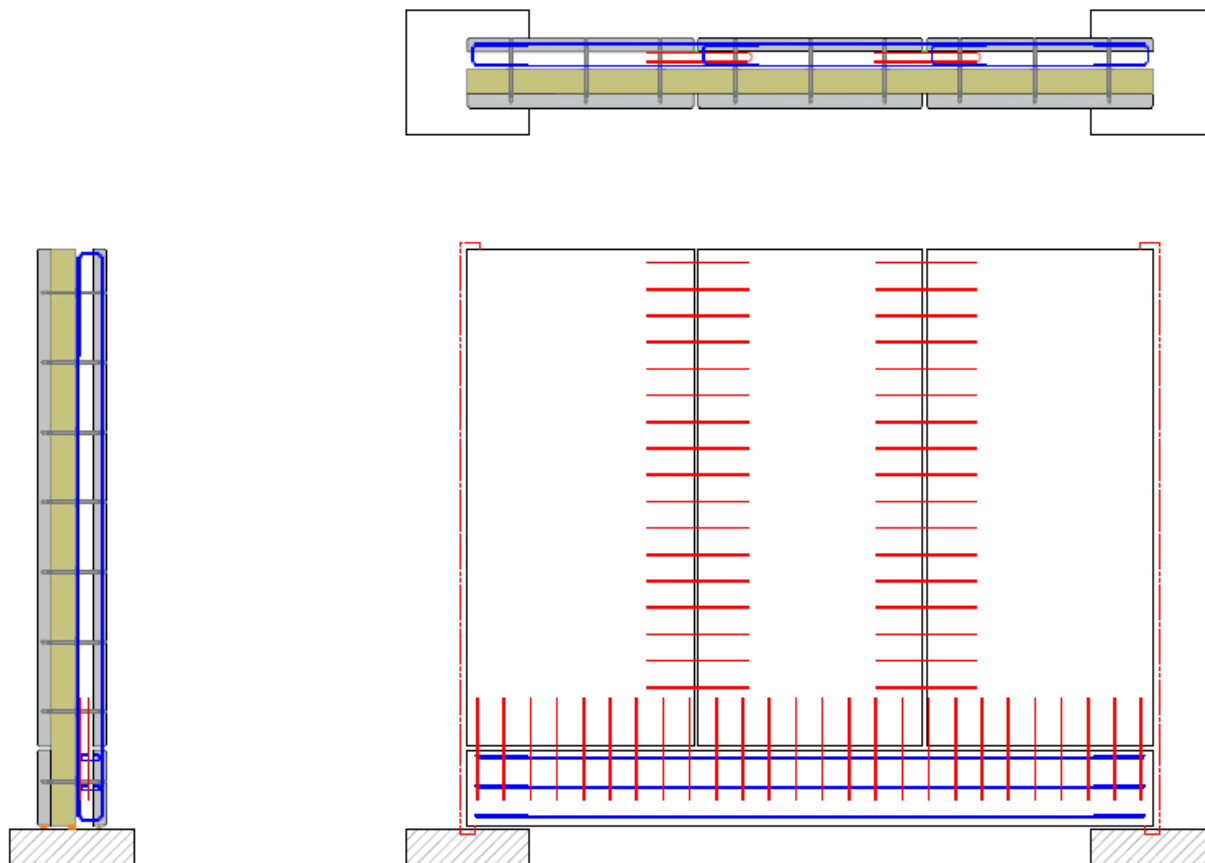


Poutre-voile réalisée avec plusieurs Inov'Mur⁽¹⁾ superposés :

- Cette solution nécessite la vérification du joint à l'effort tranchant,
- Le type de liaison est choisi en fonction de l'effort à reprendre,
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur l'appui.

Observation : ce type de configuration nécessite la présence de voiles-raidisseurs aux extrémités de la poutre-voile

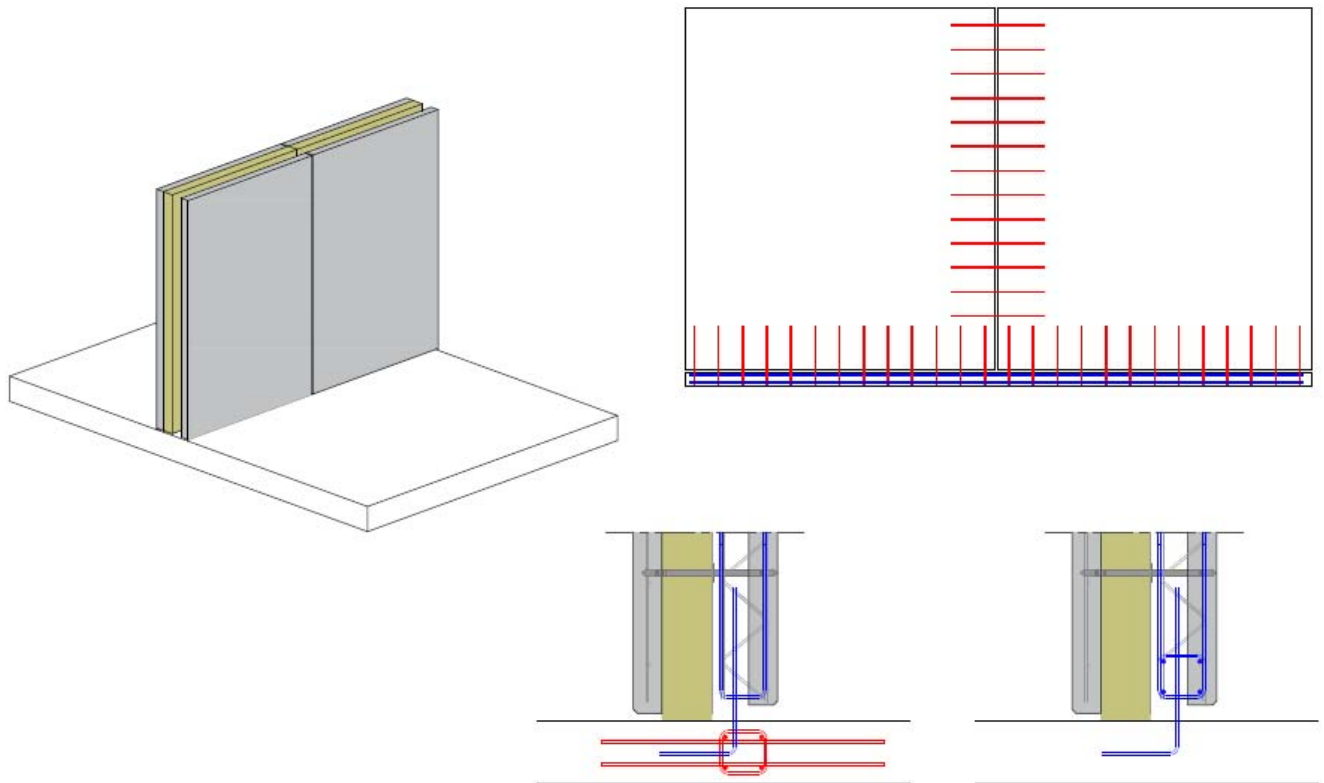
Annexe 7.2.3 : Poutre-voile en plusieurs parties



Poutre-voile en plusieurs parties :

- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée. La zone supérieure est constituée de l'Inov'Mur(i),
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant,
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre.

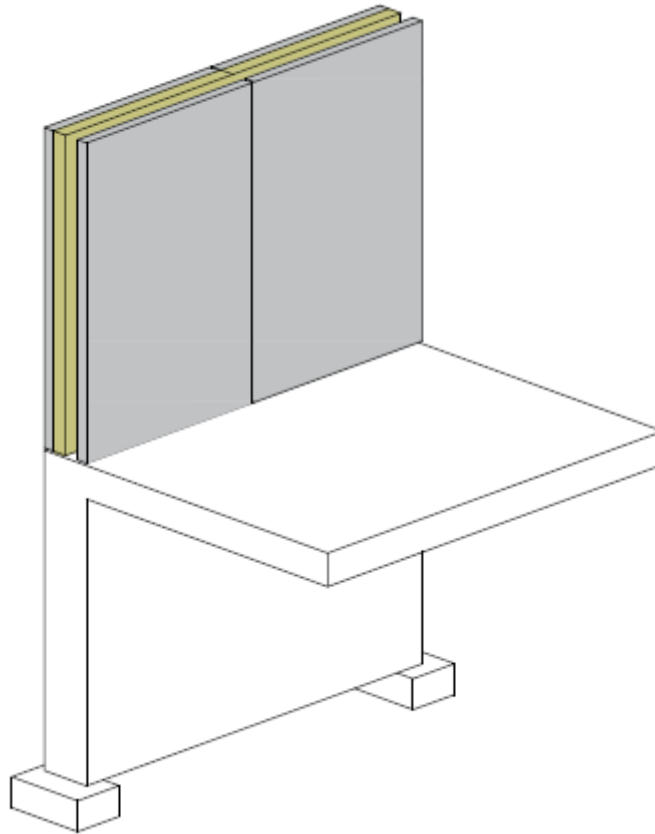
Annexe 7.2.4 : Poutre-voile reprenant la dalle inférieure



Poutre-voile reprenant la dalle inférieure : le tirant de la poutre voile est disposé dans l'épaisseur de la dalle ou dans la partie inférieure de l'Inov'Mur⁽¹⁾,

- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre

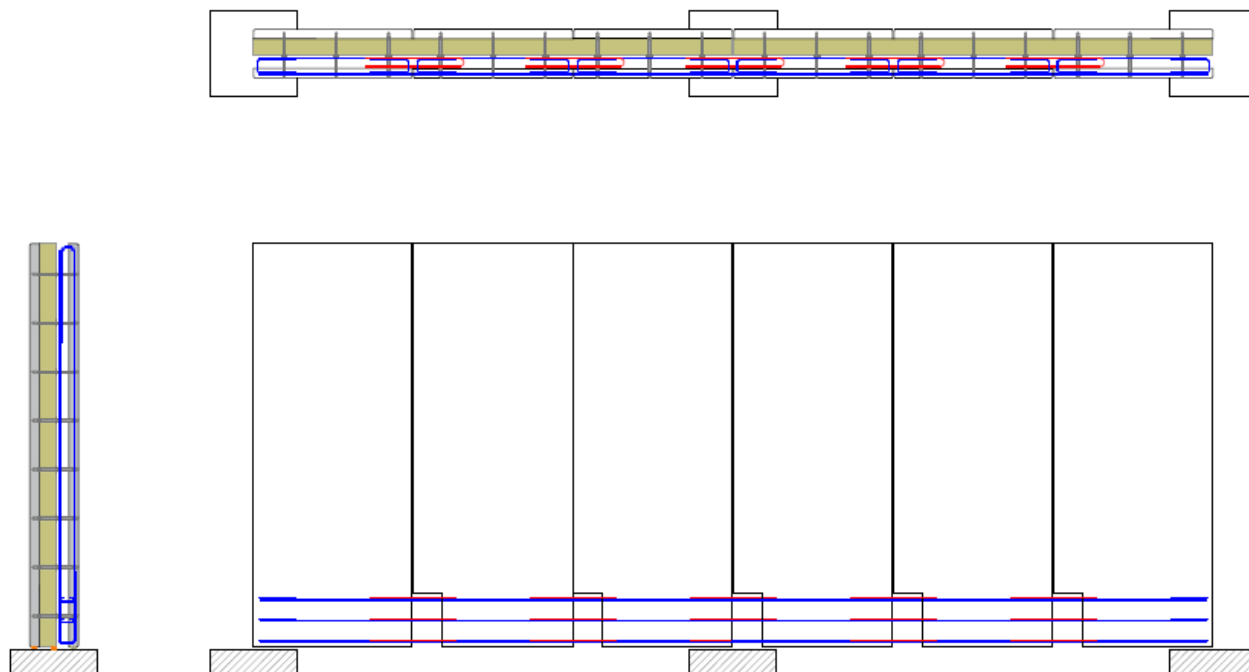
- **Annexe 7.2.5 : Poutre-voile réalisée en deux parties**



Poutre-voile réalisée en deux parties : la partie inférieure est réalisée de manière traditionnelle et la ou les parties supérieures sont réalisées à base de l'Inov'Mur⁽¹⁾,

- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre.

Annexe 7.2.6 : Poutre-voile réalisée entièrement en Inov'Mur⁽¹⁾ avec continuité sur une ou plusieurs travées



Poutre-voile réalisée entièrement en Inov'Mur⁽¹⁾ avec continuité sur une ou plusieurs travées

- Les tirants de la poutre-voile sont intégrés en partie inférieure et supérieure des Inov'Mur(i), et éclissés au droit de joints,
- Une lumière en partie basse permet d'éclisser les filants inférieurs au droit des joints,
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant,
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre.

Variante :

- Le tirant supérieur peut être disposé entièrement dans la partie coulée en place (dalle, ...),
- Le tirant inférieur peut être disposé dans un élément préfabriqué ou dans une dalle.

Annexe 8 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Inov'Mur⁽¹⁾

Il s'agit de déterminer les efforts résistants au niveau des liaisons entre Inov'Mur⁽¹⁾ et de les comparer aux efforts sollicitants.

Annexe 8.1 : Détermination des efforts sollicitants et hypothèses de vérification

Les efforts de contreventement par reprise d'une charge ponctuelle horizontale sur un mur développant une bielle de compression (*cas 1*) ou reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant n bielles de compression (*cas 2*) :

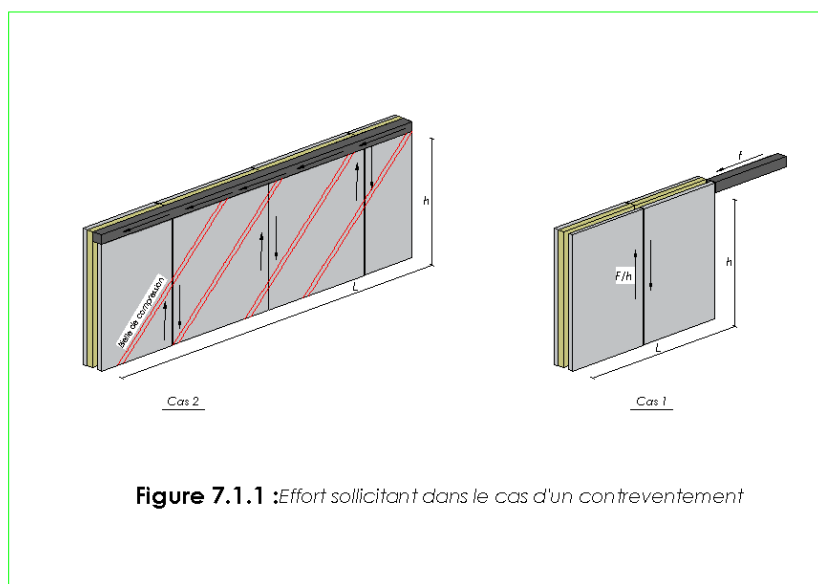


Figure 8.1.1 : Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement

- **Cas 1** : reprise d'une charge ponctuelle horizontale sur un mur développant une bielle de compression :

$$V_{Edj} = F / h$$

avec :

- F : la charge ponctuelle horizontale sur le mur,
- h : la hauteur du mur,
- $V_{Ed,j}$: l'effort tranchant sollicitant au niveau du joint.

- **Cas 2** : reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant n_b bielles de compression :

$$V_{Edj} = f \times L / (n_b \times h)$$

avec :

- f : la charge linéaire horizontale sur le mur,
- n_b : le nombre de bielles de compression développées dans le mur sous l'action de la charge linéaire f sur le mur.

Le nombre de bielles mobilisables, n_b , en supposant une inclinaison des bielles à 45°, est égal au nombre réel défini par :

$$n_b = (L - h) / h$$

Les vérifications au cisaillement sont réalisées en considérant les hypothèses suivantes :

- Dans le cas général, la valeur du cisaillement sollicitant est déterminée en considérant la valeur maximale de l'effort tranchant, indépendamment de la position du joint.
- En conséquence, la valeur sollicitante de cisaillement au niveau des joints de poutre-voile est donc majorée.
- Les valeurs de c et μ considérées correspondent au cas d'une surface de reprise de type « lisse » au sens de la norme NF EN 1992-1-1 paragraphe 6.2.5 avec la minoration suivante : $c = c_{E2\text{-lisse}} / 1,1$ ($\mu = \mu_{E2\text{-lisse}}$)

Nota : surface « lisse » est utilisé ici suivant la définition de l'EN 1992-1-1 paragraphe 6.2.5, c'est à dire une surface réalisée à l'aide de coffrage glissant ou surface extrudée ou surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration.

Annexe 8.2 : Pour le plan de rupture 1

LIAISON NON COUTUREE

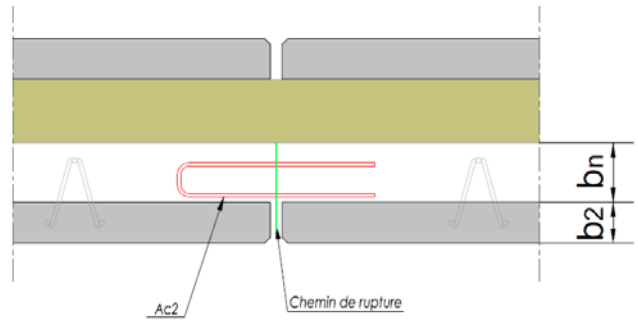
$$V_{RD1} = (c * f_{tn}/\gamma_c + \mu * (\sigma_n + \rho * f_e/\gamma_s)) * S_n$$

Avec :

$$\rho = (A_{c1} + A_{c2}) / S_n$$

Les coefficients C et μ pour cette ligne de rupture sont :

ELU	Fondamental	Sismique
C	1,00	0,50
μ	0,90	0,90



Annexe 8.3 : Pour le plan de rupture 2

LIAISON NON COUTUREE

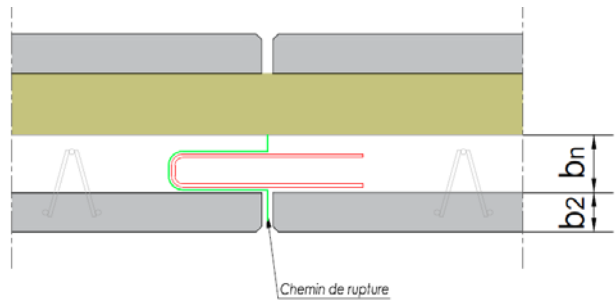
$$V_{RD2} = \left(c_a * \frac{f_{tn}}{\gamma_c} * b_n + c_b * \frac{f_{tn}}{\gamma_c} * 2x + \mu * \sigma_n * b_n \right) * l$$

Avec :

x = distance de l'about de l'armature à l'axe du joint

Les coefficients C et μ pour cette ligne de rupture sont :

ELU	Fondamental	Sismique
c_a	1,00	0,50
c_b	0,125	0,0625
μ	0,90	0,90



Annexe 8.4 : Pour le plan de rupture 3

LIAISON COUTUREE

$$V_{RD3} = \left(c_a * \frac{f_{tn}}{\gamma_c} * b_n + c_b * \frac{f_{tn}}{\gamma_c} * 2x + \mu * \left(\sigma_n + \rho * \frac{f_e}{\gamma_s} \right) * b_n \right) * l$$

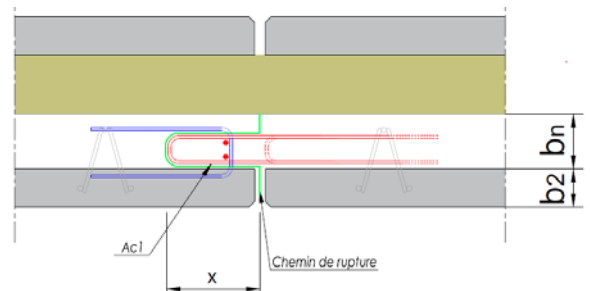
Avec :

$$\rho = 2 * A_c / S_n$$

x = distance de l'about de l'armature à l'axe du joint

Les coefficients C et μ pour cette ligne de rupture sont :

ELU	Fondamental	Sismique
c_a	1,00	0,50
c_b	0,175	0,0875
μ	0,60	0,60



Annexe 9 : Exemple de calcul de ρ_a

Cette annexe décrit à titre d'illustration, la détermination des pourcentages ρ_a et $\rho_{a'}$ des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle d'inclinaison α ou α' dans le sens longitudinal, pour deux types de treillis raidisseurs courants de section triangulaire : type treillis Warren et avec double sinusoïde.

Annexe 9.1 : Avec les raidisseurs courants de section triangulaire, type Treillis Warren

Le treillis raidisseur étudié est représenté sur la figure ci-dessous :

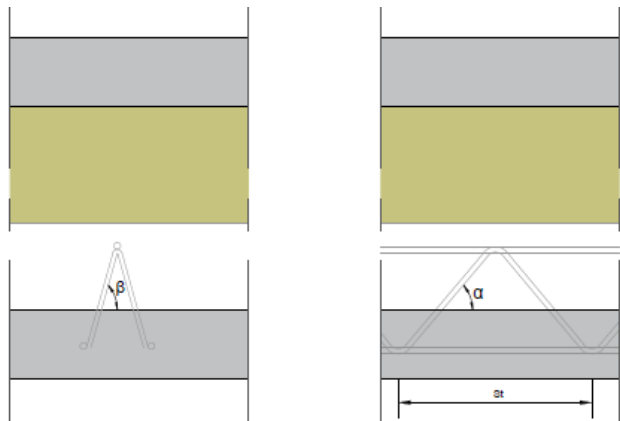


Figure 9.1 : Géométrie des raidisseurs type treillis Warren

$$\rho_a = \rho_{a'} = 2 \times A_{raid,Di} \times \sin \beta / (s_t \times e)$$

avec :

- $A_{raid,Di}$: sections d'une diagonale (m^2)
- e : espacement des raidisseurs (m)
- s_t : pas de sinusoïde (m)
- β : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

- Espacement des raidisseurs : = 60 cm
 - Diagonales : $\phi 5 \text{ mm} \rightarrow 0,1963 \text{ cm}^2$
 - Pas de la sinusoïde : $s_t = 20 \text{ cm} \rightarrow \beta = 86^\circ$, soit $\sin \beta = 0,997$
- On obtient $\rho_a = \rho_{a'} = 0,0326 \%$**

Annexe 9.2 : Avec les raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde

Figure 9.2 : Géométrie des raidisseurs double sinusoïde

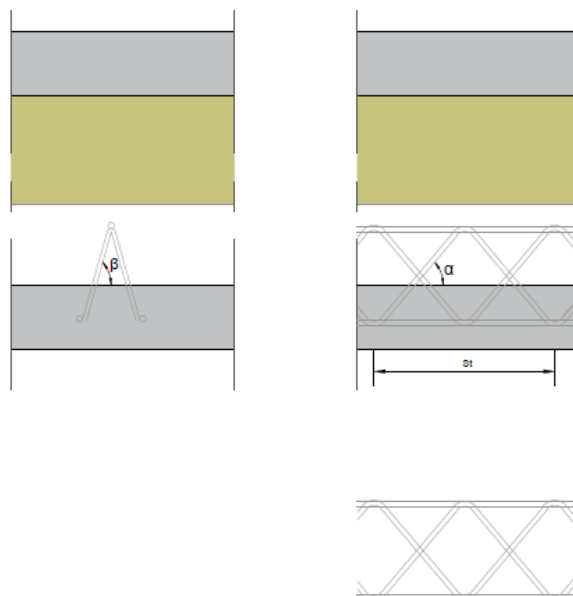
$$\rho_a = \rho_{a'} = 2 \times A_{raid,Di} \times \sin \beta / (s_t \times e)$$

avec :

- $A_{raid,Di}$: sections d'une diagonale (m^2)
- e : espacement des raidisseurs (m)
- s_t : pas de sinusoïde (m)
- β : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

- Espacement des raidisseurs : 60 cm
 - Diagonales : $\phi 6 \text{ mm} \rightarrow 0,266 \text{ cm}^2$
 - Pas de la sinusoïde : $s_t = 30 \text{ cm} \rightarrow \beta = 86^\circ$, soit $\sin \beta = 0,997$
- On obtient $\rho_a = \rho_{a'} = 0,0313 \%$**



Annexe 10 : Exemple de calcul de $\tau_{ED,lim}$

Le cisaillement admissible $\tau_{ED,lim}$ à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place est donné par l'expression :

$$\tau_{ED,lim} = \min(V_{Rd,i} = c \times f_{ctd,n} + \rho_{\alpha} \times f_t \times (\mu \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \times f_t' \times (\mu \sin \alpha' + \cos \alpha'); 0,5 \times v \times f_{cd,n})$$

Avec :

- $f_{cd,n}$: la valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale NF EN 1992-1-1/NA,
- $f_{ctd,n}$ la valeur de la résistance de calcul en traction du béton de remplissage du noyau telle que définie à l'article 3.1.6 de la norme NF EN 1991-1-1 et son annexe nationale NF EN 1991-1-1/NA,
- f_t : la contrainte mobilisable au niveau du plan de cisaillement oblique telle que : $f_t = \text{Min}(R_{e,Di}/\gamma_s; F_w / (A_{di} \times \gamma_s))$
- $R_{e,Di}$: la limite apparente d'élasticité des aciers,
- F_w : la résistance garantie des soudures des sinusoïdes sur les armatures longitudinales du treillis raidisseur,
- A_{di} : la section d'une diagonale du treillis raidisseur,
- v : coefficient de réduction de la résistance du béton défini de la manière suivante : $v = 0,6 \times (1 - f_{ck,n} / 250)$
- Les coefficients c et μ dépendant de la rugosité de l'interface entre le béton des parois préfabriquées et le béton du noyau coulé en place sont définis à l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1. Les surfaces seront classées en lisse avec c égal à 0,20 et μ égal à 0,6.
- Les valeurs de c et μ sont celles de l'article 6.2.5 de la norme NF EN 1992-1-1 dans le cas d'une surface de reprise lisse $c=0,20$.
- Sous charges dynamiques ou de fatigue, il convient de diviser par deux les valeurs du coefficient c , conformément à l'article 6.2.5 (5).
- α et α' sont les inclinaisons des diagonales des treillis raidisseurs par rapport au plan de reprise dans le sens longitudinal,
- ρ_{α} et $\rho_{\alpha'}$ sont les pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle α ou α' dans le sens longitudinal, voir l'Annexe 9 : Exemple de calcul de ρ_{α} .

Ainsi par exemple :

Pour un béton de remplissage tel que $f_{ck,n} = 25 \text{ MPa}$, $f_{cd,n} = 16,7 \text{ MPa}$ et $f_{ctd,n} = 1,20 \text{ MPa}$

- Pour des raidisseurs de section triangulaire, type treillis Warren :
 - Espacés de 60 cm,
 - Avec $R_{e,Di} = 500 \text{ MPa}$,
 - $F_w = 980 \text{ daN}$ dont les caractéristiques géométriques sont les suivantes :
 - Ø diagonales = 5 mm,
 - Pas de la sinusoïde = 20 cm, $\alpha = 56^\circ$
 - $\alpha' = 180 - 56 = 124^\circ$
 - $\beta = 86^\circ$
- Le pourcentage d'armatures transversales est calculé comme présenté dans l'Annexe 9, on obtient $\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = 0,0326\%$.
De plus, $f_t = \text{Min}(500/1,15; 9800 / (1,15 \times \pi \cdot 5^2 / 4)) = 435 \text{ MPa}$.

On en déduit la valeur de $v_{Rd,i}$:

- $v_{Rd,i} = 0,2 \cdot 1,2 + 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot (0,6 \cdot \sin 56^\circ + \cos 56^\circ) + 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 434 \cdot (0,6 \cdot \sin 124^\circ + \cos 124^\circ)$
- $v_{Rd,i} = 0,38 \text{ MPa}$
- De plus comme $v_{Rd,i} < 0,5 v f_{cd} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot (1 - 25 / 250) \cdot 16,7 = 4,5 \text{ MPa}$.

On a donc : $\tau_{ED,lim} = 0,38 \text{ MPa}$

En resserrant les raidisseurs avec un espacement de 50 cm, le pourcentage d'armatures est alors $\rho = 0,0392\%$.

La valeur admissible de cisaillement à l'interface devient : $\tau_{ED,lim} = 0,387 \text{ MPa}$

Annexe 11 : Vérification des organes de liaisons sous sollicitation sismique

La réglementation sismique est la suivante :

- Règles parasismiques EC8,
- Arrêtés ministériels du 19 juillet 2011 et du 22 octobre 2010 relatifs à la classification et aux règles de construction parasismiques applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,
- Décrets d'application n°2010-1254 relatif à la prévention du risque sismique et n°2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.

Le dimensionnement des éléments de suspentes est effectué conformément à l'article 4.3.5 : Eléments non structuraux de la norme NF EN 1998-1:2005, et au guide : Dimensionnement parasismique des éléments non structuraux du cadre bâti.

Le maintien en situation courante de la paroi béton est vérifié avec les suspentes Inox et les connecteurs en matériaux composites.

Les organes de liaisons (*suspentes Inox et connecteurs*) ont été modélisés sous ROBOT d'AUTODESK, suivant la résistance des matériaux en définissant :

- Une coque béton sollicitée dans son plan sous action sismique,
- Les connecteurs en matériaux composite : par des appuis élastiques (4 U/m^2),
- Les suspentes Inox : par des barres inclinées encastées.

La stabilité de la paroi extérieure est assurée :

- Sous sollicitations sismiques horizontales tangentes au plan du panneau : principalement par les connecteurs en matériaux composite. Les suspentes Inox ayant peu de raideur horizontale subissent un déplacement imposé au même titre que la dilatation thermique,
- Sous sollicitations sismiques verticales : par les suspentes Inox, et par les connecteurs en cas de soulèvement de la paroi extérieure,
- Sous sollicitations sismiques horizontales perpendiculaires au plan du panneau : par les connecteurs en compression/traction.

Le dimensionnement est donc effectué en considérant :

- Que les connecteurs reprennent la quasi-totalité de l'effort sismique :
 - Horizontal tangent : effort de cisaillement et déplacement,
 - Horizontal perpendiculaire au plan du panneau : effort de traction/compression,
- Que les suspentes Inox sont sollicitées du fait du déplacement imposé par la raideur des connecteurs sous séisme horizontal, et qu'elles sont sollicitées verticalement sous séisme vertical.

Suivant la valeur de l'accélération sismique et l'épaisseur d'isolant, il peut être nécessaire d'augmenter la densité de connecteurs en matériaux composites afin de limiter les déplacements des panneaux.

En zone sismique, l'implantation des suspentes est le positionnement au centre de gravité vertical et horizontal de la paroi extérieure.

Annexe 11.1 : Actions et combinaisons

Tous les paramètres de calculs sont définis par le BET Structure du Chantier qui est seul responsable de la stabilité de l'ouvrage.

Le BET Structure du chantier communique l'ENSEMBLE des informations au fabricant d'Inov'Mur⁽¹⁾.

Les actions à considérer sur la paroi extérieure béton et les connecteurs :

Désignation	Naturel (*)	Actions à Considérer
		en PHASE DEFINITIVE
Poids propre de la paroi Extérieure	UR	X
Effet du séisme	UR	x

(*) UR = Uniformément réparties - Ponct = Ponctuelle, C = Couple

Suivant le projet et la classe de sol considérée, les valeurs peuvent être réadaptées. Nous rappelons ci-dessous les valeurs du coefficient C par lequel multiplier le poids d'un élément non structural pour obtenir la force sismique horizontale appliquée à un élément de façade :

		Catégorie d'importance du bâtiment		
		II	III	IV
Zones Sismiques	1	-	-	-
	2	-	0,85	0,99
	3	1,11	1,33	1,55
	4	1,61	1,94	2,26

Les coefficients sont déterminés en considérant les hypothèses enveloppes suivantes :

- Classe de sol E pour la valeur du paramètre de sol S,
- Coefficient d'importance : $\gamma_a = 1$,
- $q_a = 1$,
- $z/H = 1$,
- $T_a / T_1 = 1$.

A titre d'exemple, pour un bâtiment de catégorie d'importance III en zone de sismicité 3, on retient le coefficient C de 0,67. Cela conduit à une force sismique horizontale pour un panneau de 4,00 x 3,00 m et pour une paroi extérieure de 7 cm de :

$$F_a \text{ par connecteur} = 1,33 \times (0,50 \times 0,50 \times 0,07 \times 2,5) = 58 \text{ daN/U}$$

La composante verticale du séisme est prise égale à : $a_{gv} = 0,90 * a_g$

Annexe 11.2 : Critères de vérification

Sous sollicitations sismiques, la vérification de résistance consiste à s'assurer que cette force agissante sismique F_a obtenue par les calculs précédents reste inférieure aux capacités résistantes (*valeurs de calculs sismiques*) des éléments et liaisons concernés.

Du fait du caractère accidentel de l'action sismique, le principe général est de considérer ces capacités résistantes comme égales aux résistances caractéristiques sous chargement statique minorées de 60 % pour prendre en compte le caractère cyclique des sollicitations.

$$\text{On vérifie : } G + F_a + \psi_{2,1} \times Q_{k,1} \leq P_{Rd,sismique}$$

Avec :

- $Q_{k,1}$ = Sollicitation d'origine thermique,
- $\psi_{2,1}$ = coefficient de l'action variable d'accompagnement, égal à 0 pour une action thermique (combinaison accidentelle sismique).

Pour les connecteurs en matériaux composite, on vérifie que : $F_a \leq P_{Rd,sismique}$ tel que $P_{Rd,sismique} = 0,4 \times P_{rk} / (\gamma_s \times \gamma_m)$ avec γ_s en cisaillement = 1 (*situation accidentelle*) et $\gamma_m = 1,3$ (matériau)

Les sollicitations étant principalement de la traction et du cisaillement, on vérifie que :

$$\left(\frac{F_a}{P_{Rd,sismique}} \right)^2 + \left(\frac{N_a}{N_{Rd,sismique}} \right)^2 \leq 1$$

Avec :

- F_a = sollicitation en cisaillement dans le connecteur,
- $P_{Rd,sismique}$ = Résistance en cisaillement du connecteur,
- N_a = sollicitation normale dans le connecteur,
- $N_{Rd,sismique}$ = Résistance sous efforts normaux du connecteur.

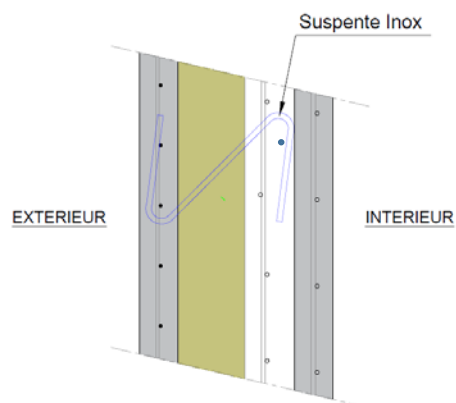
Pour les suspentes on vérifie que : $G + F_a \leq V_{Rd,sismique \text{ suspente}}$

Annexe 11.3 : Sollicitations et vérifications en phase définitive des connecteurs en matériaux composite et des suspentes inoxydables sous sollicitations sismiques

Dans le cas de la vérification par la méthode élastique, la contrainte finale considérée dans les suspentes est comparée à la valeur caractéristique de l'acier Fe=650 MPa, avec un coefficient de sécurité de 1,00 sur le matériau du fait du caractère accidentel de l'action sismique.

En zone sismique ou pour des raisons de dimensionnement à chaud ou à froid pour des panneaux de grandes dimensions, le centre de torsion des suspentes inox doit être situé à la verticale du centre de gravité de la paroi extérieure.

Pour la justification de celles-ci, l'angle des suspentes avec la verticale est pris égal à 45° dans les cas courants.



Annexe 11.4 : Rappel des valeurs retenues de Prk et Raideurs connecteurs

Les caractéristiques mécaniques des connecteurs sont détaillées à l'annexe 2 de ce document.

Annexe 11.5 : Justification des suspentes inox

Avec les coefficients de sécurité de :

- 1,00 : sur le poids propre de la paroi,
- 1,00 : sur les actions sismiques,
- 1,00 : sur le matériau acier,

On vérifie bien que dans le cas de la plus faible raideur du connecteur, la contrainte appliquée sous séisme vertical et horizontal tangent : $G + F_{asx} + 0,3 \times F_{asz} \leq 650 \text{ MPa}$

Contrainte appliquée sous séisme horizontal et vertical tangent : $G + F_{asz} + 0,3 \times F_{asx} \leq 650 \text{ MPa}$

Annexe 11.6 : Justification des connecteurs en matériaux composites

• SEISME HORIZONTAL TANGENT au PLAN du PANNEAU :

Les connecteurs en matériaux composites sont sollicités en cisaillement à hauteur de :

$$V_{Ed,sismique} = Poids / n \times C$$

Avec :

- Poids = poids/m² de la paroi extérieure en daN/m²,
- n = nombre de connecteurs par m² (4 U),
- C = Coefficient force sismique pour le sol

On vérifie bien que : $V_{Ed,sismique} \leq P_{Rd,sismique}$ tel que $P_{Rd,sismique} = 0,4 \times P_{Rk} / (\gamma_s \times \gamma_m)$ avec γ_s en cisaillement = 1 (situation accidentelle) et $\gamma_m = 1,2$ (matériau)

Ex. : Catégorie d'importance du bâtiment de Type 3 – Zone Sismique 3 – Epaisseur Isolant : 12 cm – Peau Extérieure de 7 cm – qa = 1

$$\rightarrow V_{ED, sismique \text{ par connecteur}} = 1,33 \times (0,50 \times 0,50 \times 0,07 \times 2,5) = 58 \text{ daN/U}$$

$$\rightarrow P_{Rk} \text{ pour isolant de 12 cm} = 226 \text{ daN d'où } 0,40 * P_{Rd,sismique} = 0,40 * P_{Rk} / 1,2 = 75 \text{ daN}$$

• SEISME HORIZONTAL PERPENDICULAIRE au PLAN du PANNEAU :

$$N_{Ed,sismique} = Poids / n \times C$$

Avec :

- Poids = poids/m² de la paroi extérieure en daN/m²,
- n = nombre de connecteurs par m² (4 U),
- C = Coefficient force sismique pour le sol

La traction est généralement plus pénalisante que l'action de compression sur les connecteurs.

On vérifie bien que : $N_{Ed,sismique} \leq N_{Rd,sismique}$ tel que $N_{Rd,sismique} = 0,4 \times N_{Rk} / (\gamma_s \times \gamma_m)$

avec γ_s en traction = 1 (situation accidentelle) et $\gamma_m = 1,3$ (matériau)

Puis on vérifie la concomitance des sollicitations pour des différentes combinaisons sismiques $\pm (V_{Ed,sismique} \pm 0,3.N_{Ed,sismique})$ ET $\pm (0,3.V_{Ed,sismique} \pm N_{Ed,sismique})$

$$\left(\frac{V_{Ed,sismique}}{P_{Rd,sismique}} \right)^2 + \left(\frac{N_{Ed,sismique}}{N_{Rd,sismique}} \right)^2 \leq 1$$

Les connecteurs en matériaux composite à raison de 4 u/m², assurent généralement leur rôle de reprise de l'action sismique.

Annexe 11.7 : Justification de la largeur de joint entre Inov'Mur⁽¹⁾

La largeur du joint théorique de 15 mm doit être déterminée à partir des deux conditions suivantes :

- D'une tolérance négative minimale de 5 mm sur la largeur nominale des joints,
- De la conformité avec la plage d'utilisation des joints utilisés dans le cadre du chantier.

Dans le cas de sollicitations sismiques particulières, la largeur de joint théorique peut être augmentée de 15 mm à 20 mm. Les tolérances de pose et de réglages restant inchangées alors.

La tolérance du réglage du joint entre Inov'Mur⁽¹⁾ sur chantier doit être à +/- 5 mm, soit des joints effectifs sur chantiers pour 15 mm théorique : minimum 10 mm et maximum 20 mm.

En cas de réalisation d'Inov'Mur⁽¹⁾ de grandes dimensions, un contrôle renforcé de la largeur des joints, doit être réalisé sur chantier.

La vérification du joint consiste à vérifier que le déplacement sous séisme des deux parois reste inférieur la largeur du joint théorique moins les tolérances de poses et de fabrications.

On retient :

- Tolérance de pose : +/- 5mm,
- Tolérance de fabrication : +/- 2mm.

Exemple de calcul de variation de joint :

En considérant, la raideur en cisaillement d'après la formule : K (raideur) = Force / Déplacement,

- Une force sismique de 58 daN par connecteur, équivalente à $0,50 \times 0,50 \times 2500 \times 0,07 \times 1,33$
- Un isolant de 12 cm,
- Une raideur de 173 KN/m,
- Le déplacement d'une paroi est donc de +/- 3,36 mm.

La variation dimensionnelle du joint est du double sous sollicitation sismique, soit 6,72 mm dû au déplacement en déphasage des parois voisines.

Pour un joint théorique de 15 mm, la largeur nominale du joint moins les tolérances de pose +/- 5 mm et de fabrication +/- 2 mm, est de 8 mm.

La variation dimensionnelle du joint sous sollicitation sismique reste donc inférieure à 8 mm.

L'action verticale du séisme n'est pas dimensionnante car les connecteurs ne sont pas sollicités → Seul l'allongement de l'acier des suspentes Inox aurait un impact mineur sur la largeur des joints.

Annexe 11.8 : Justification du ferrailage de la paroi béton

Les sections de ferrailages verticales et horizontales de la paroi extérieure sont déterminées en fonction des efforts sous séisme :

- Reprise du poids et de l'action verticale de séisme et reprise de l'action horizontale due au séisme dans le plan de la paroi extérieure,
- Dans le plan perpendiculaire au voile,

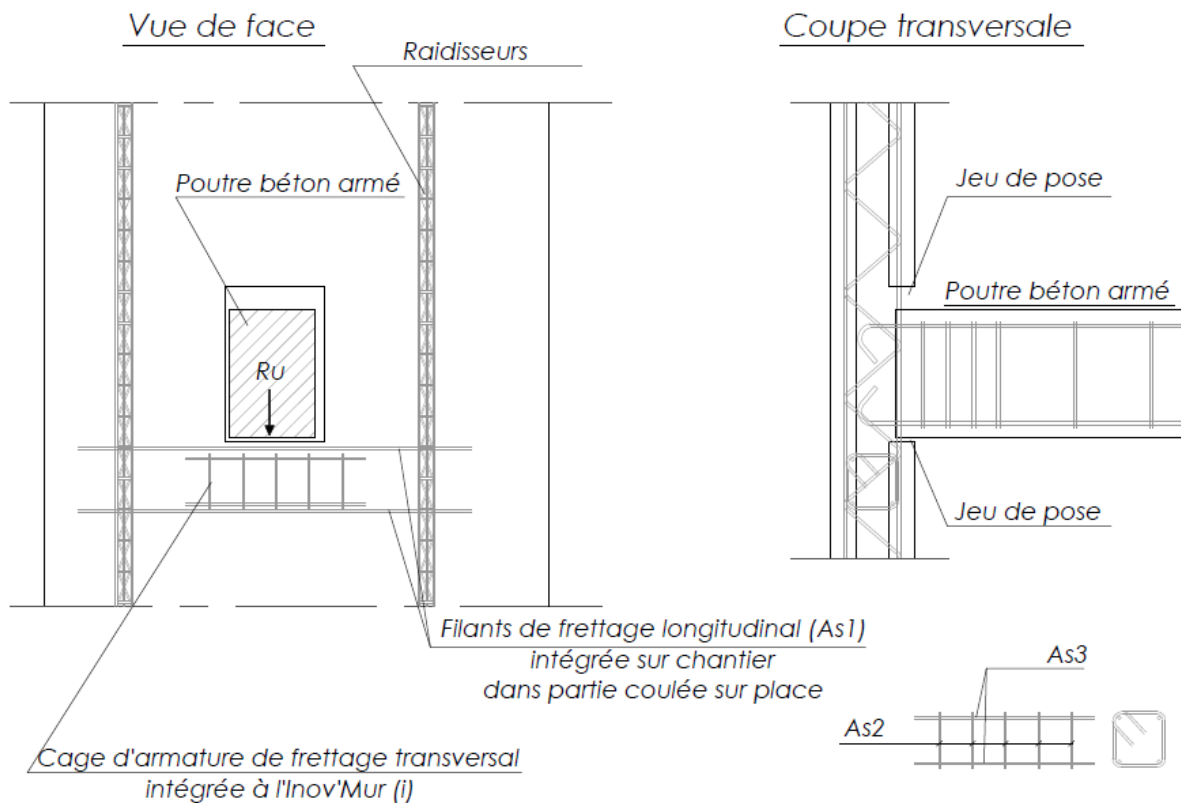
et de la répartition des suspentes inclinées en acier espacement entre les suspentes.

Le ferrailage est effectué en considérant la paroi extérieure en fonctionnement en poutre-voile avec des appuis au droit des suspentes inox et en console courte pour les bords de la paroi extérieure.

Selon les valeurs de l'accélération sismique supportée par la paroi extérieure et les espacements entre suspentes inclinées, il peut être nécessaire d'augmenter les sections d'armatures minimum de la paroi extérieure.

Le ferrailage de la paroi extérieure est déterminé par le bureau d'étude du fabricant.

Annexe 12 : Justification des renforts sous appui ponctuel de poutres



La poutre sera positionnée avec un jeu de pose et un joint souple en sous-face pour éviter de solliciter uniquement la paroi intérieure de l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾.

Sous l'effet de la réaction d'appui, il convient de prévoir des armatures de frettage.

Les armatures doivent être convenablement ancrées au-delà de la zone d'application de la charge de façon à prévenir toute rupture.

La section d'armatures A_{s1} des aciers longitudinaux horizontaux sous la poutre et la section d'armatures A_{s2} de la corbeille de frettage transversal intégré à l'Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont données par l'expression suivante :

$$A_{s1} = A_{s2} = 0,25 \times \frac{R_{Ed}}{\left(k \times \frac{f_{yk}}{\gamma_s}\right)} + \frac{0,04 \times R_{Ed}}{\frac{f_{yk}}{\gamma_s}}$$

Avec :

- R_{Ed} : Réaction d'appui pondérée ELU,
- f_{yk} : Limite élastique de l'acier,
- γ_s : coefficient de sécurité pour l'acier → 1,15 à l'ELU
- k : coefficient géométrique
 - pour une réservation en rive de mur → 1,00
 - pour une réservation au centre du mur → 1,50

On mettra en place une section d'armatures de montage A_{s3} .

Annexe 13 : Traitement des Baies des Inov'Mur⁽¹⁾

L'étanchéité au droit des menuiseries est particulièrement délicate. Les menuiseries seront fixées sur la paroi intérieure ou sur le noyau.

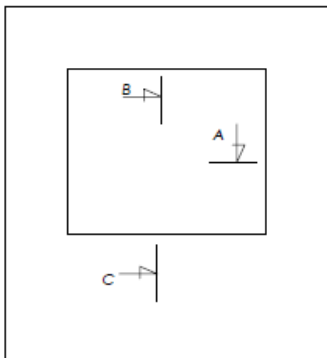
Une bavette d'appui est prolongée du joint et dans la menuiserie et encastrée de chaque côté dans la paroi extérieure.

La menuiserie vient en applique contre la bavette d'appui par compression d'une bande d'étanchéité.

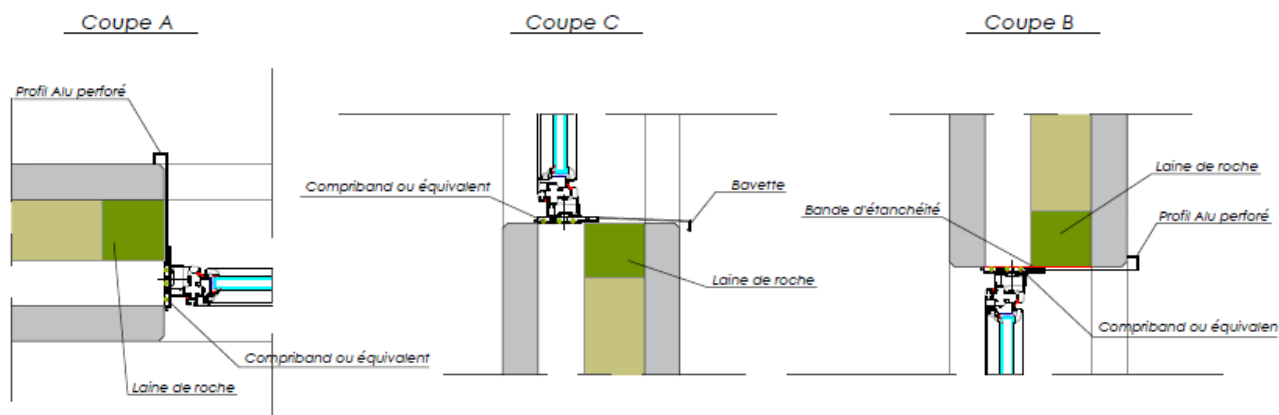
L'étanchéité en tête de menuiserie et verticale de part et d'autre de la menuiserie est assurée par mise en place de profilés métalliques sur lesquels la menuiserie est fixée en applique après mise en place d'une garniture d'étanchéité.

Ces pré-cadres recouvrent au minimum toute l'épaisseur de la paroi extérieure et de l'isolant.

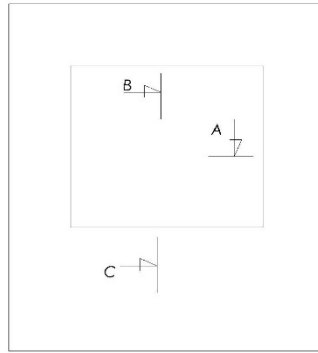
Annexe 13.1 : Menuiseries posées en tableaux



Menuiserie avec ou sans tapée

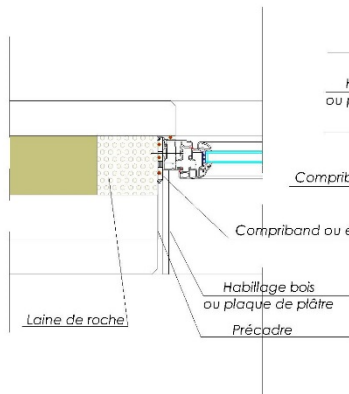


Annexe 13.2 : Menuiseries posées en applique

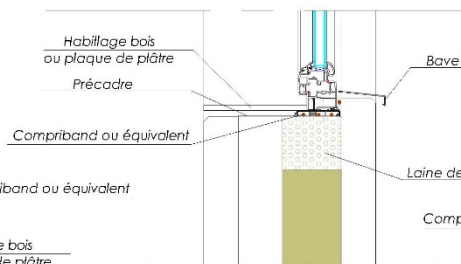


Menuiserie avec ou sans tapée

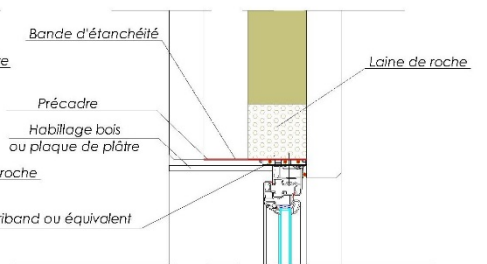
Coupe A



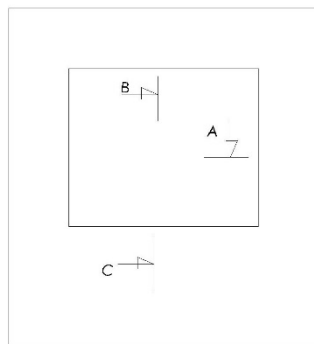
Coupe C



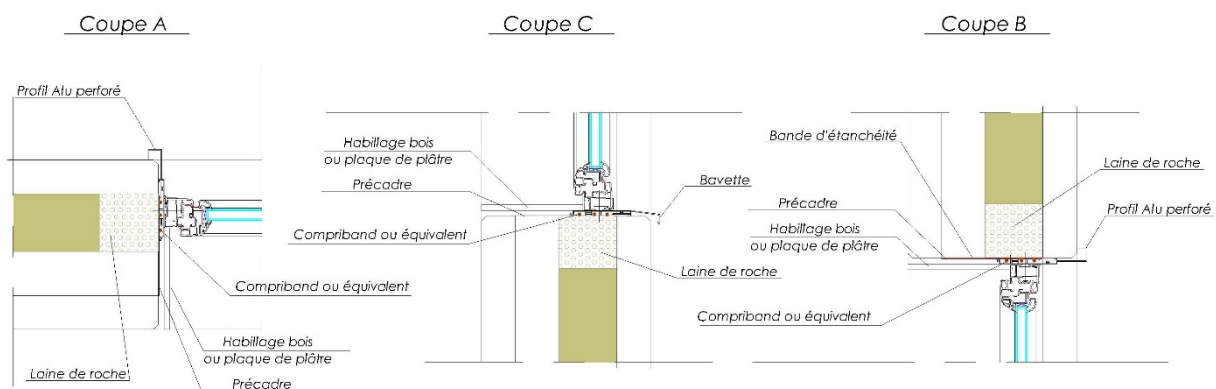
Coupe B



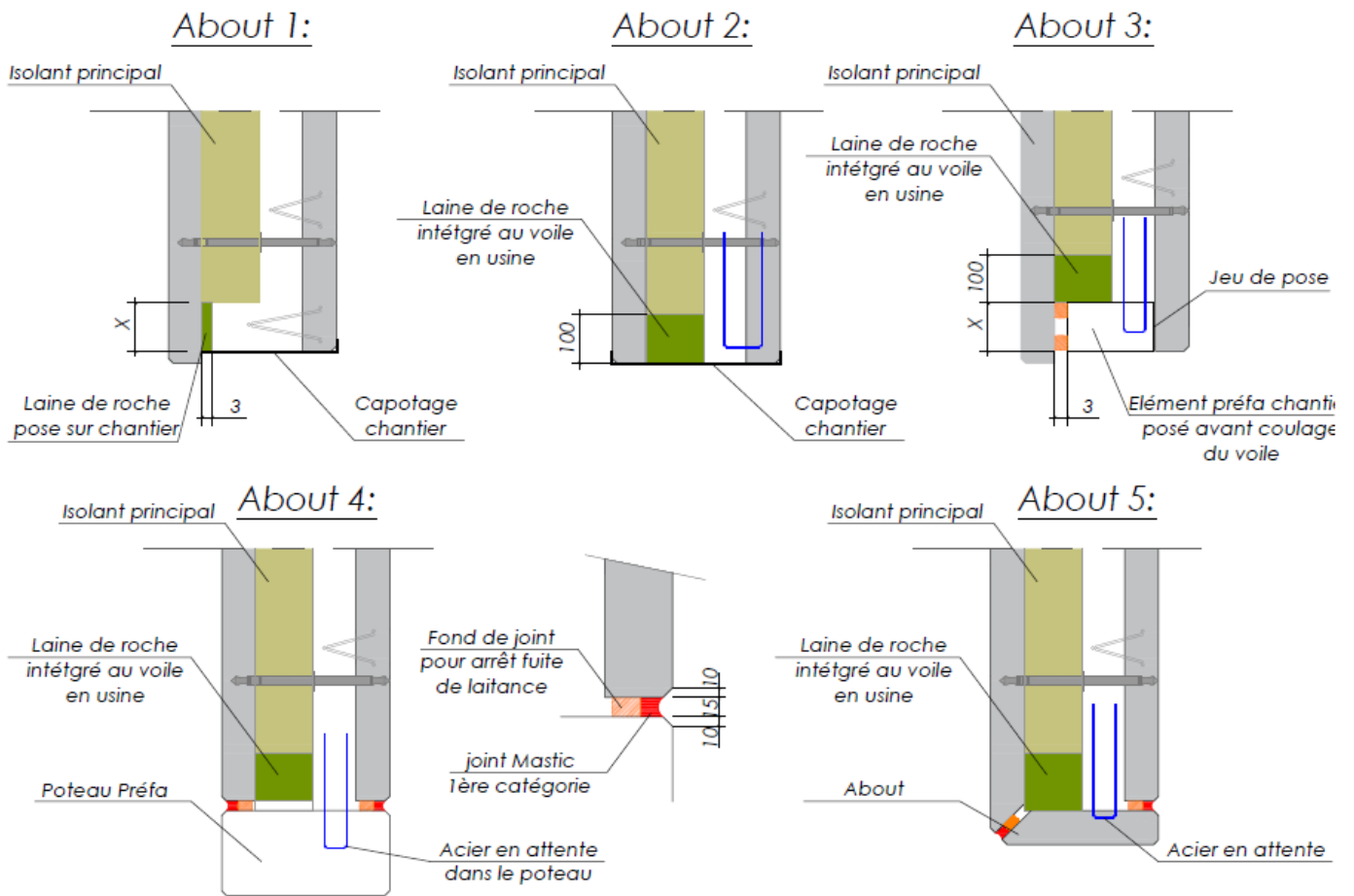
Annexe 13.3 : Menuiseries posées en tunnel



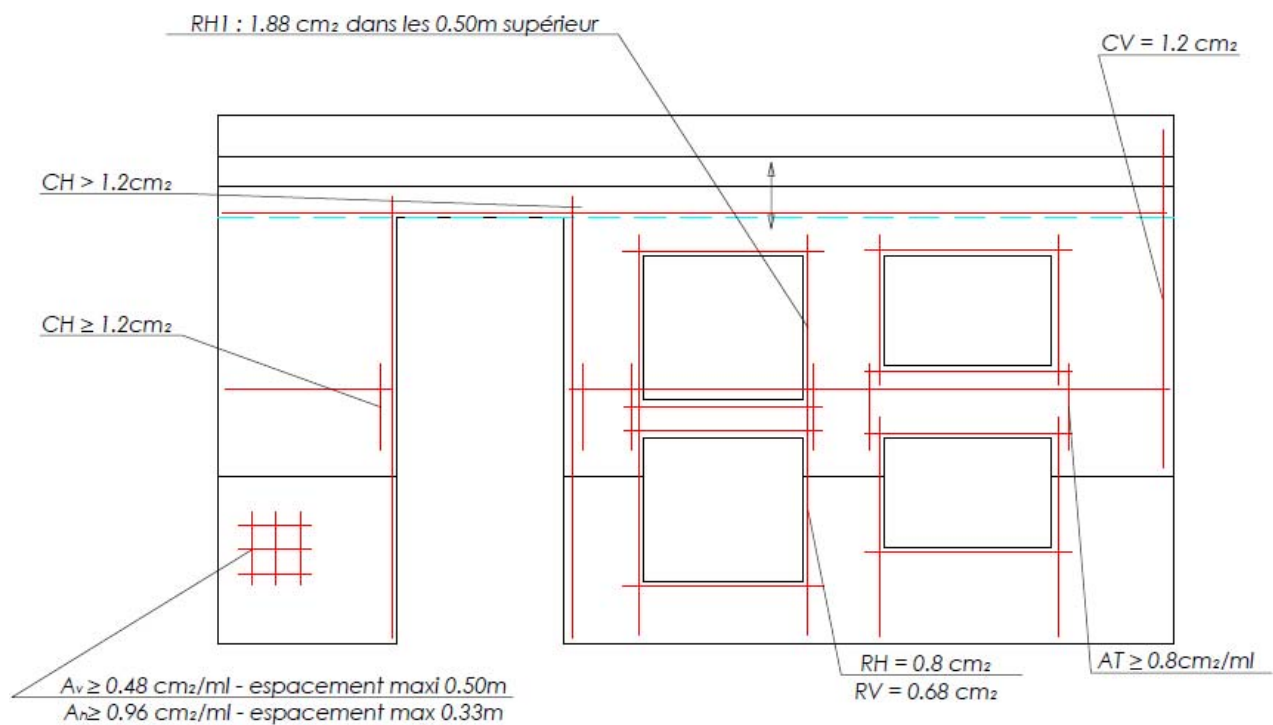
Menuiserie avec ou sans tapée



Annexe 14 : Traitement des Abouts des Inov'Mur⁽¹⁾



Annexe 15 : Ferrailage Minimum des Baies des Inov'Mur⁽ⁱ⁾



E. Dispositions constructives générales

E1 : Vue générale d'un Inov'Mur⁽¹⁾

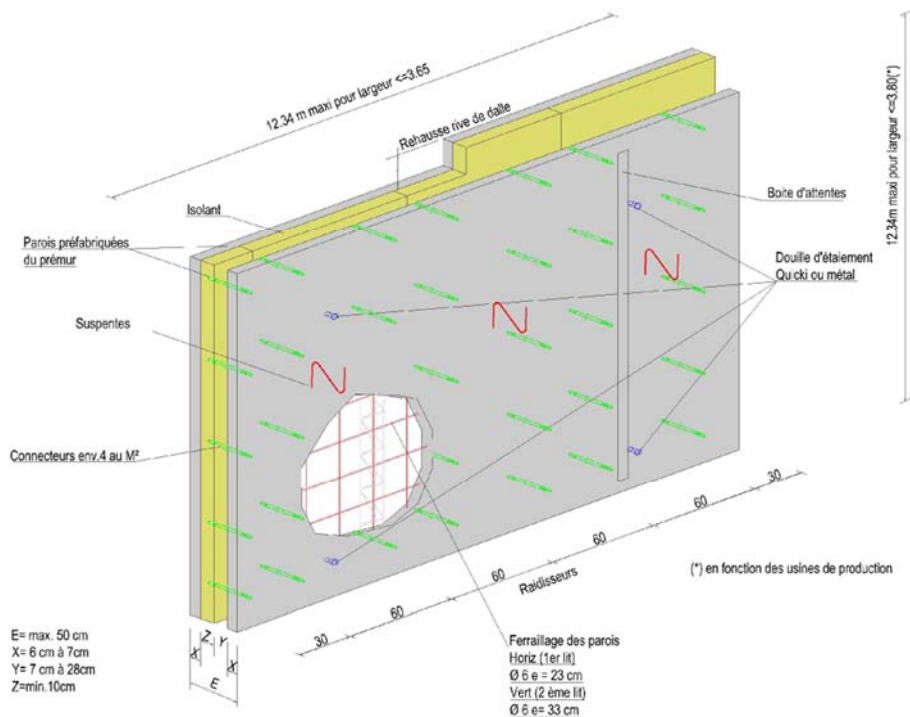


Figure E1.1 : Eclaté de l'Inov'Mur⁽¹⁾

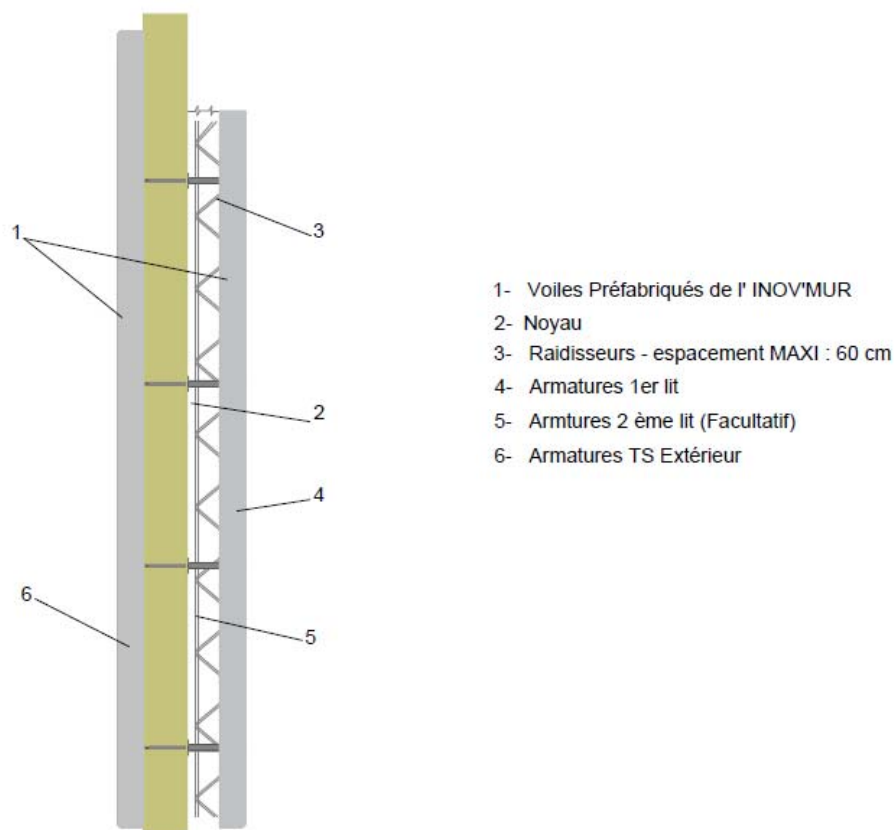


Figure E1.2 : Coupes verticales courantes de l'Inov'Mur⁽¹⁾

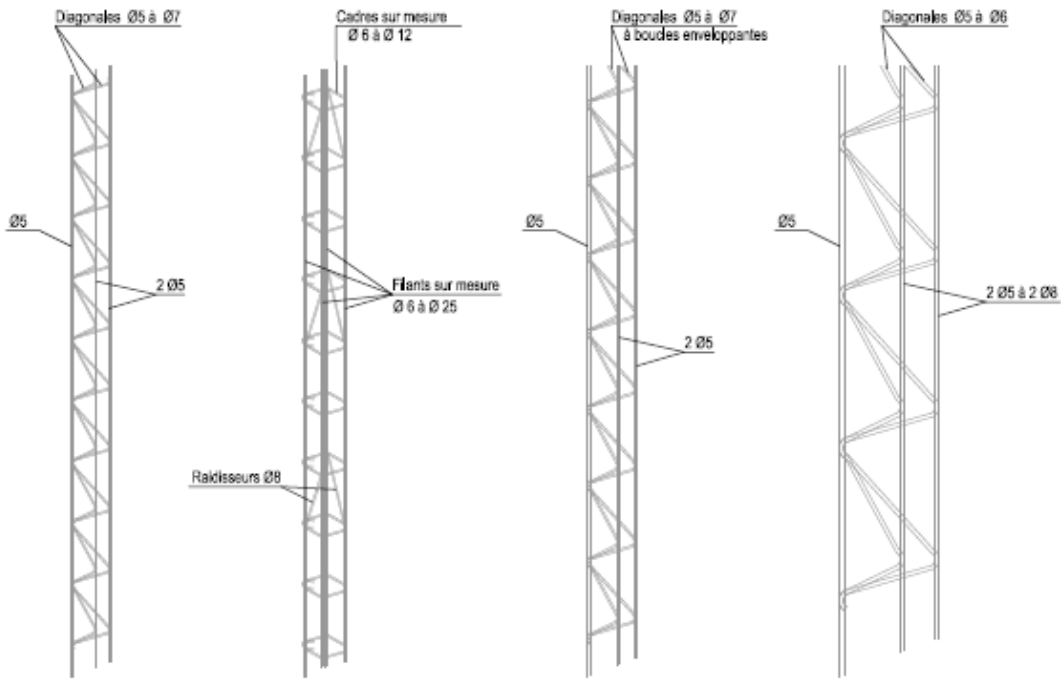


Figure E1.3 : Raidisseurs de l'Inov'Mur⁽¹⁾

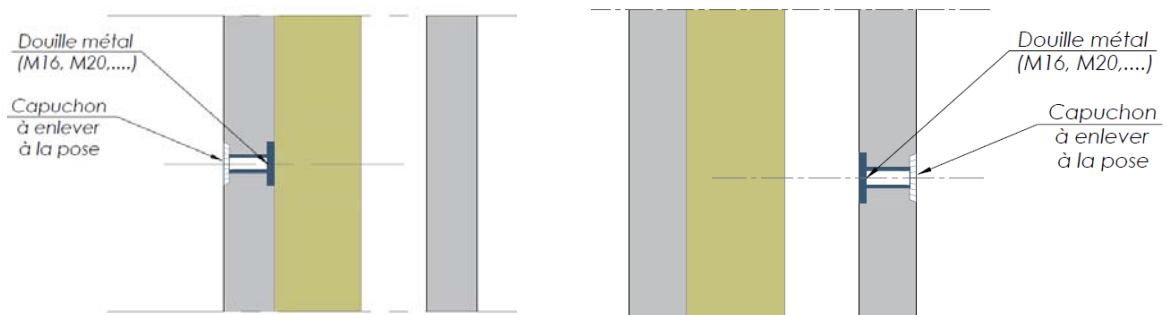


Figure E1.4 : Douilles métalliques incorporées dans l'Inov'Mur⁽¹⁾

En fonction des besoins architecturaux, les liaisons en angle pourront être réalisées selon les 2 principes suivants :

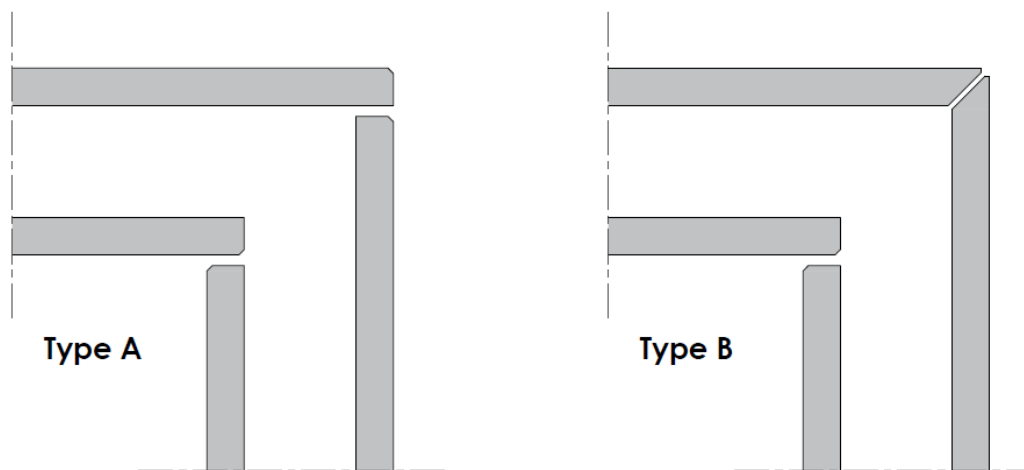


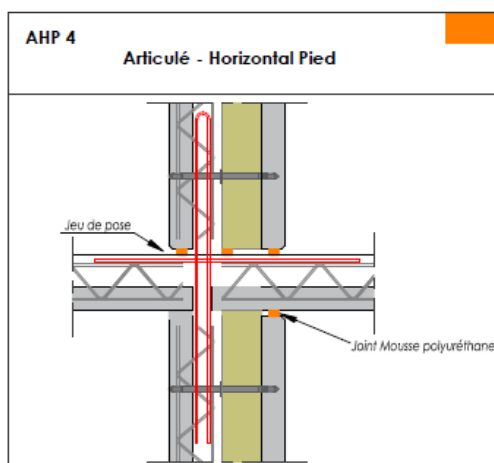
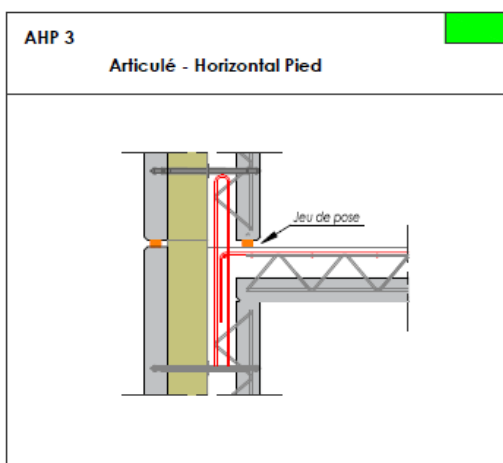
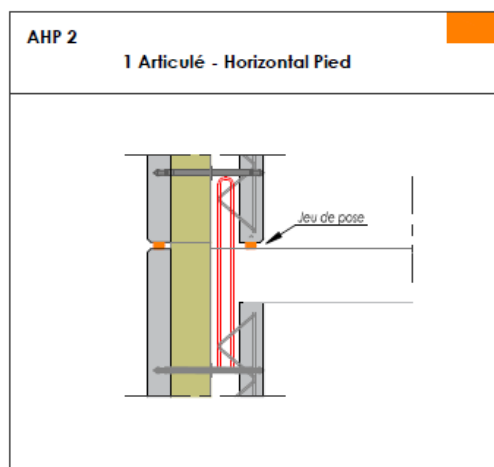
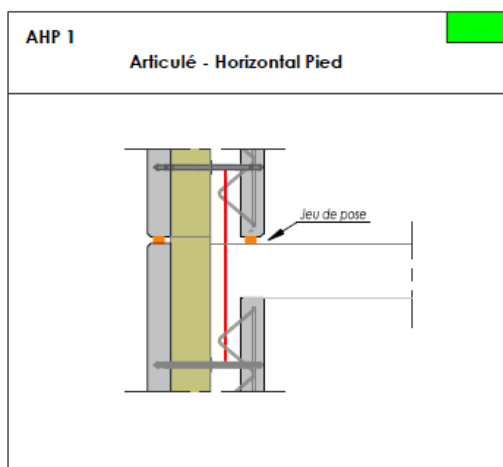
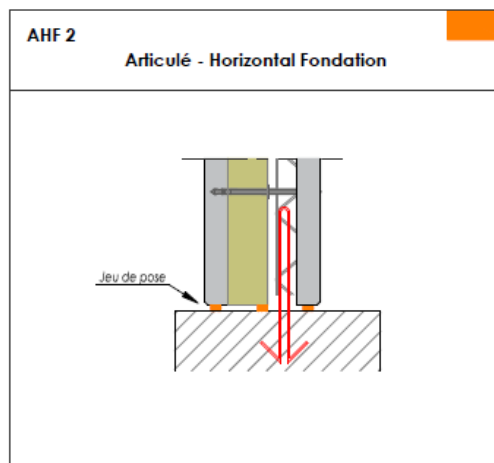
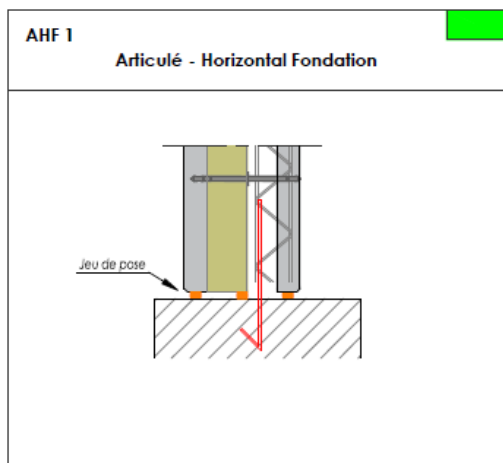
Figure E1.5 : Particularités des Liaisons en angle des Inov'Mur⁽ⁱ⁾

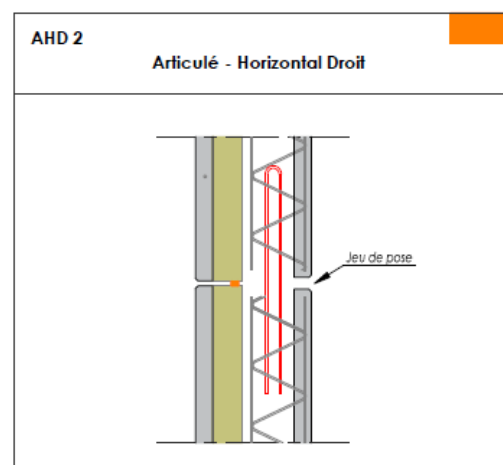
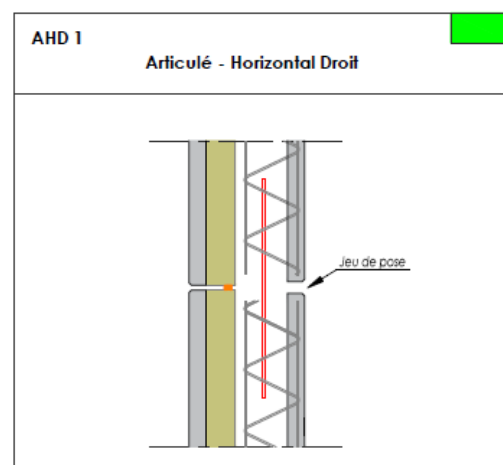
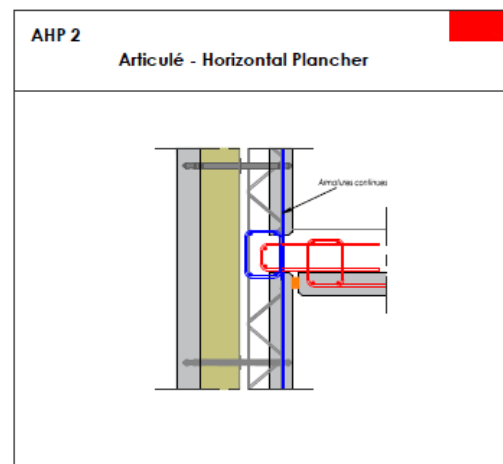
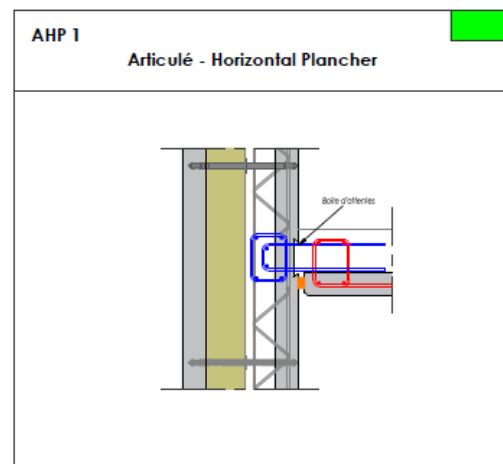
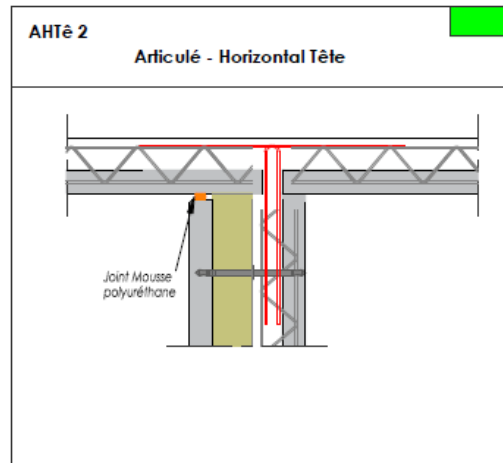
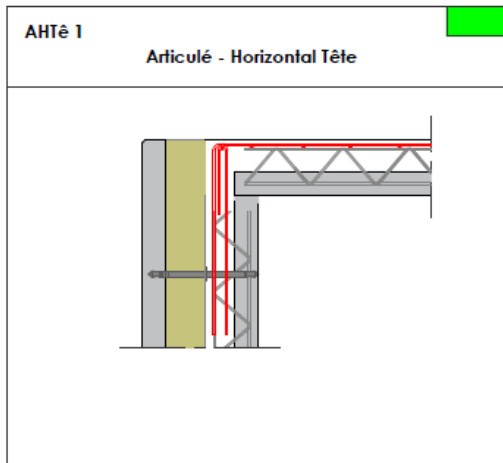
Pour ne pas surcharger ce document toutes les liaisons en angle des Inov'Mur⁽ⁱ⁾ seront représentées selon le type A, mais toutes les liaisons définies ci-dessous peuvent être avec le type B.

Les armatures incluses dans les Inov'Mur⁽ⁱ⁾ sont représentées en **BLEU** et les armatures à mettre en œuvre sur chantier sont représentées en **ROUGE** :

- Les armatures de liaison sont à mettre avant coulage,
- les détails sont repérés en fonction de leur facilité de mise en œuvre :
 - **vert** = simple,
 - **orange** = intermédiaire,
 - **Rouge** = plus complexe.

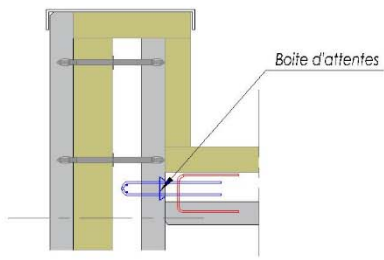
E2 : Catalogue des Liaisons ARTICULEES pour les Inov'Mur⁽¹⁾





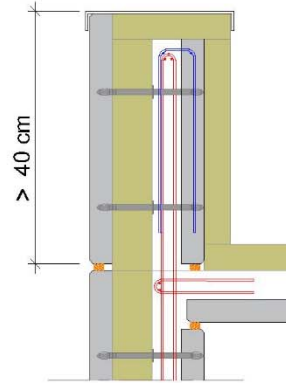
AHA 1

Articulé - Horizontal Acrotère



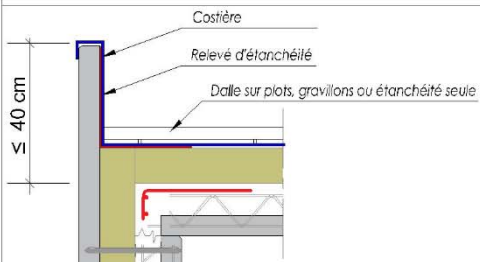
AHA 2

Articulé - Horizontal Acrotère



AHA 3

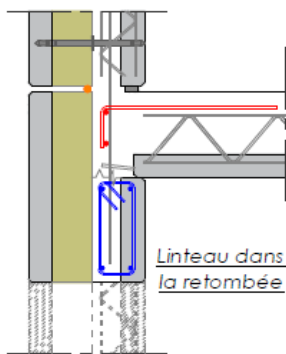
Articulé - Horizontal Acrotère



NOTA : Fixation de garde-corps impossible sur la paroi extérieure

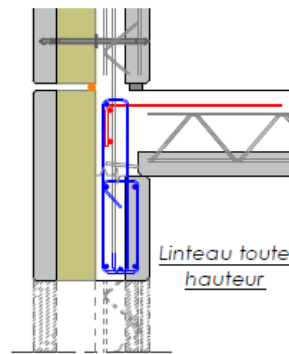
AHLi 1

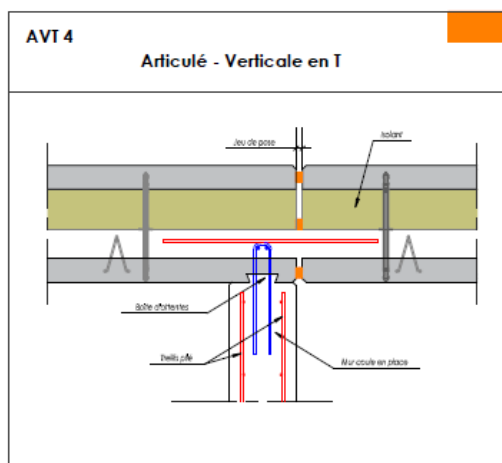
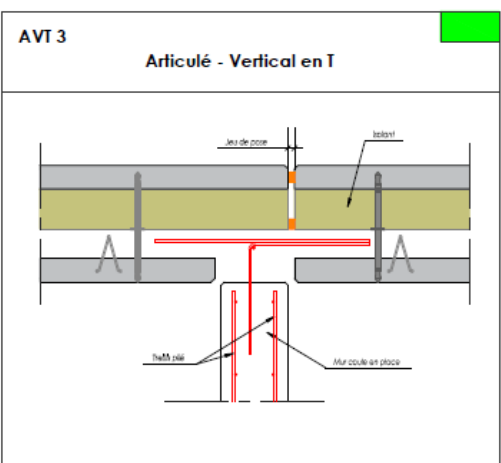
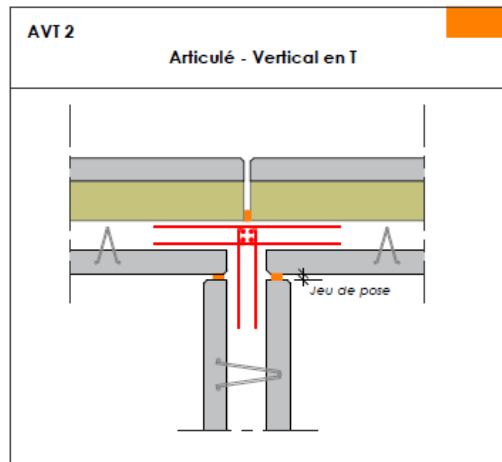
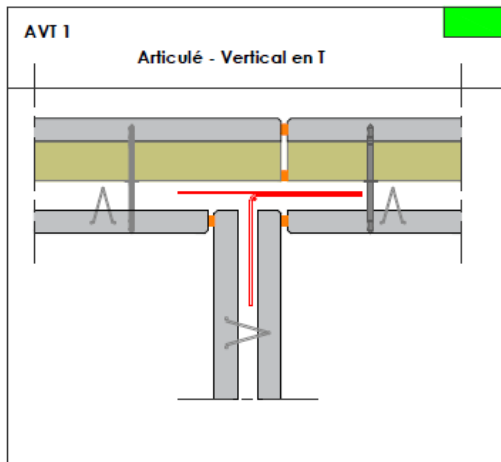
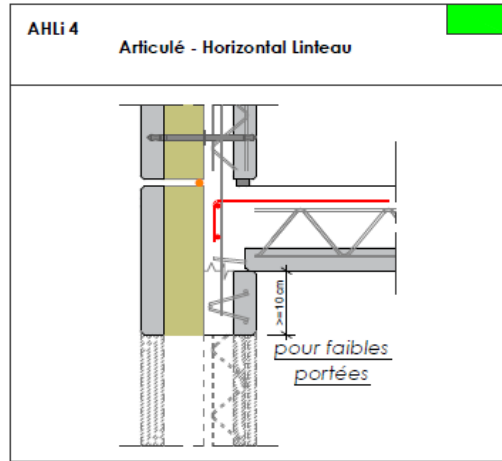
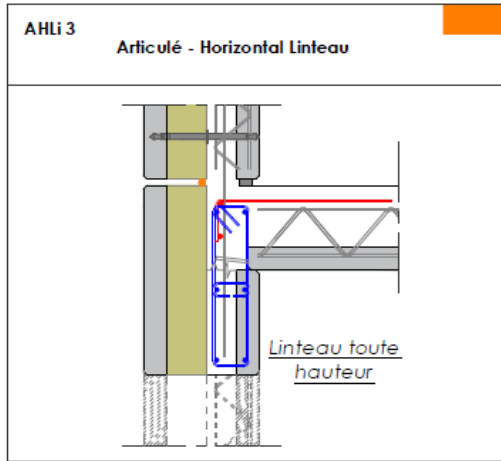
Articulé - Horizontal Linteau



AHLi 2

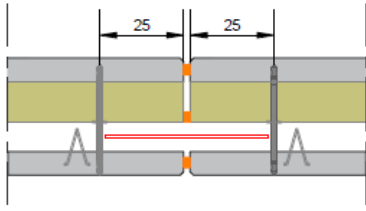
Articulé - Horizontal Linteau





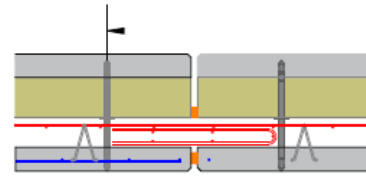
AVD 1

Articulé - Vertical Droit



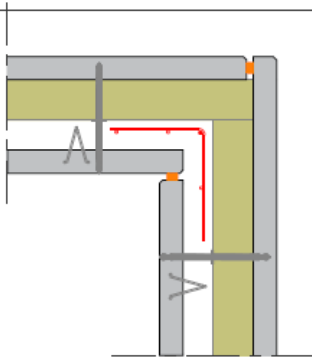
AVD 2

Articulé - Vertical Droit



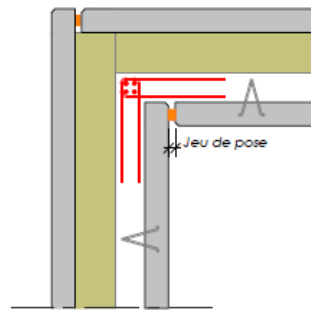
AVL 1

Articulé - Vertical en L



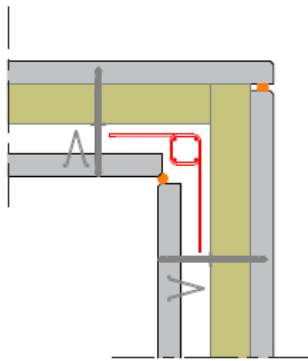
AVL 2

Articulé - Vertical en L



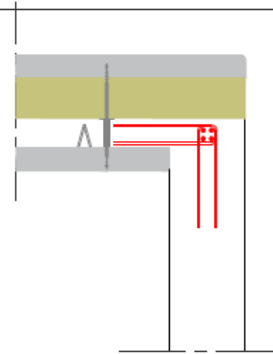
AVL 3

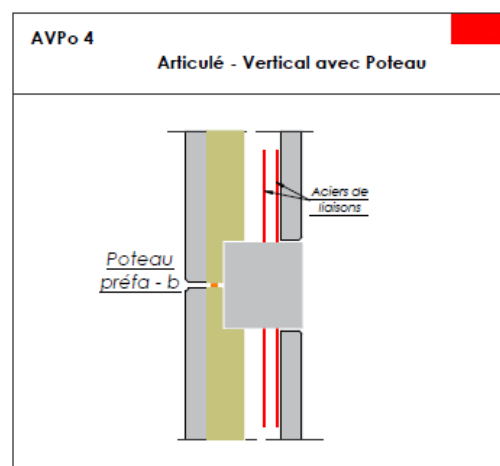
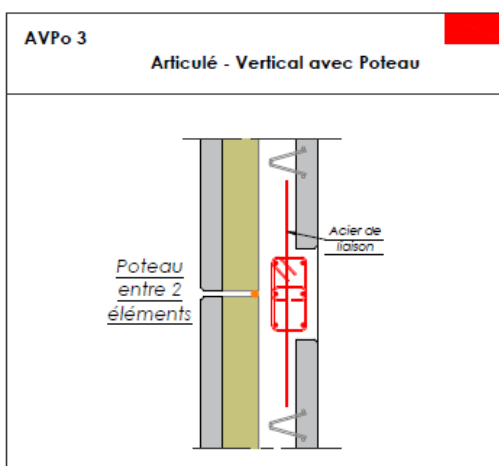
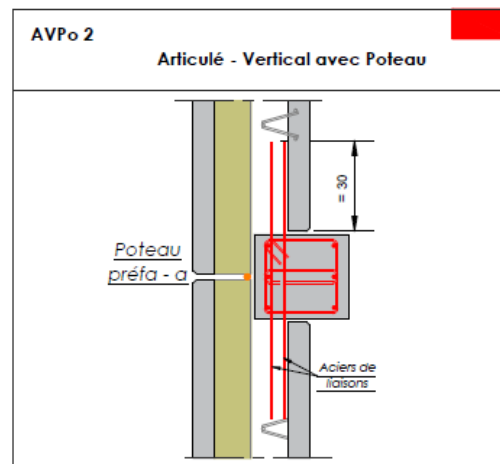
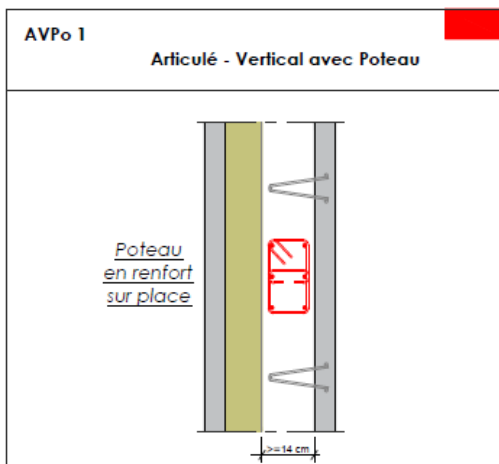
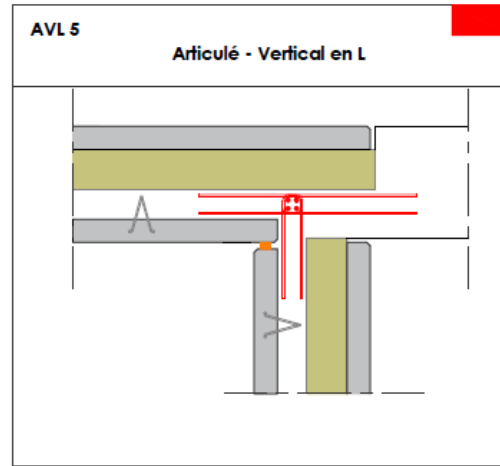
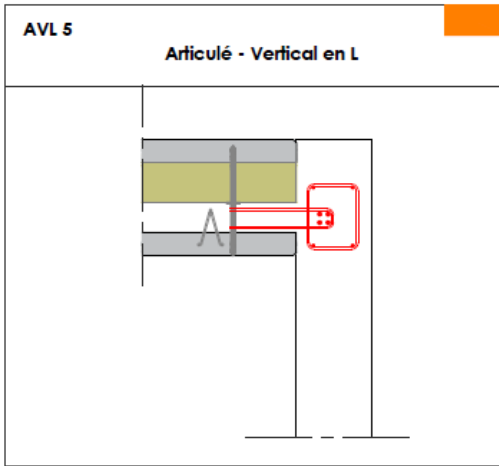
Articulé - Vertical en L



AVL 4

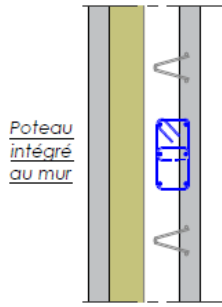
Articulé - Vertical en L





AVPo 5

Articulé - Vertical avec Poteau

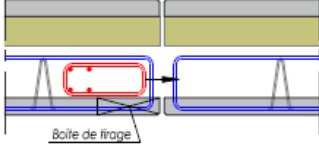


E3 : Catalogue des Liaisons COUTUREES pour les Inov'Mur⁽¹⁾

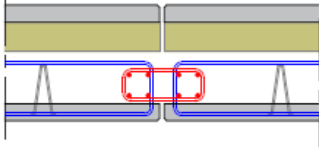
CVD 1

Couturé - Vertical Droit

1ère étape

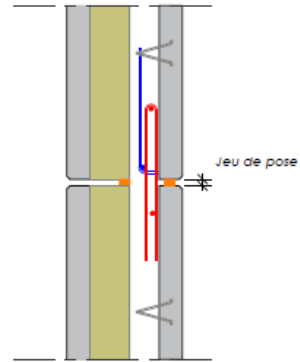


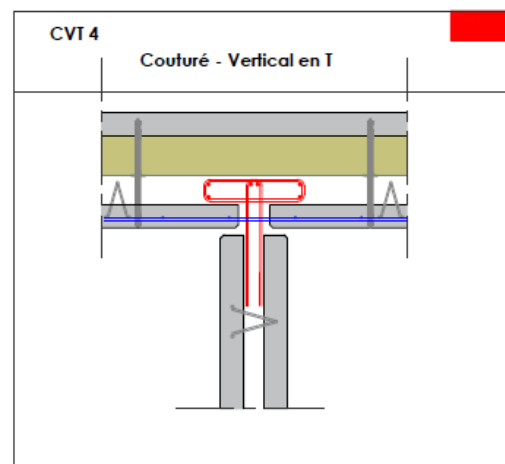
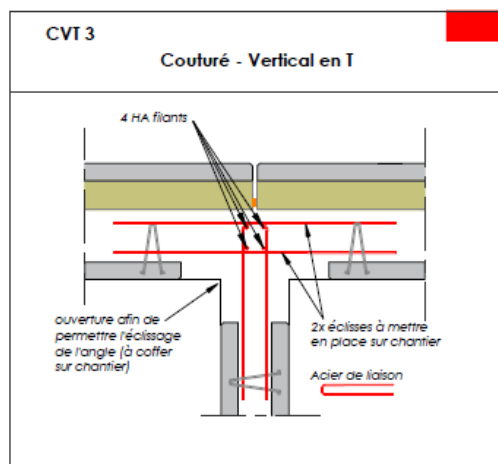
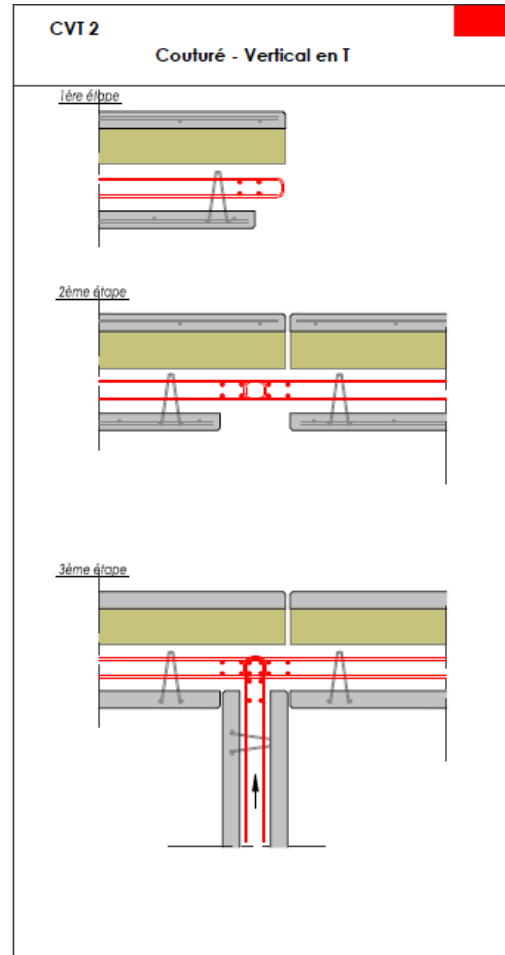
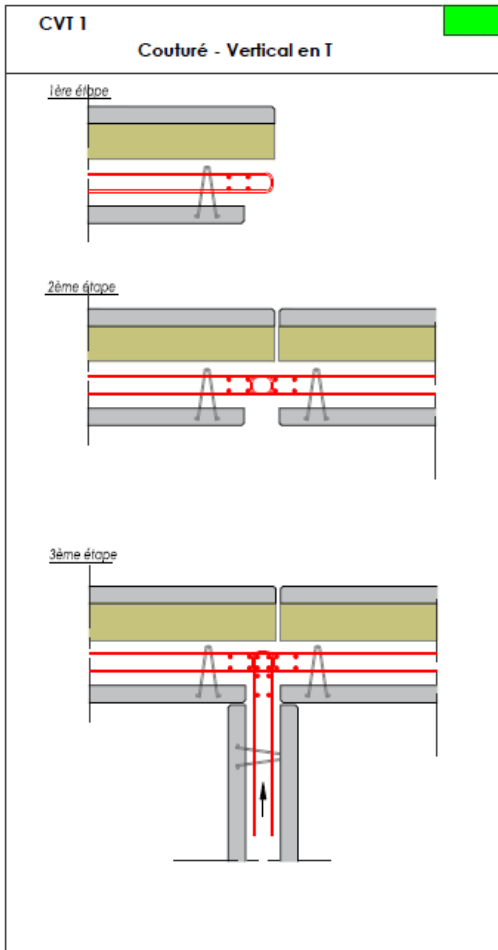
2ème étape



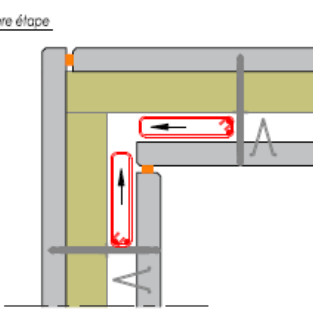
CVD 2

Couturé - Vertical Droit

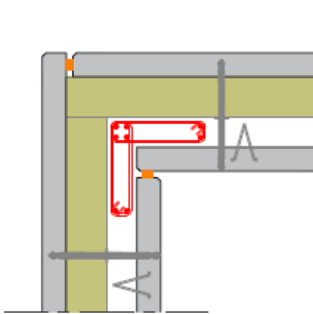




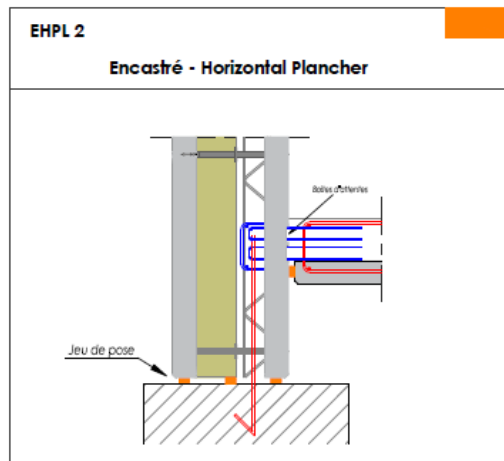
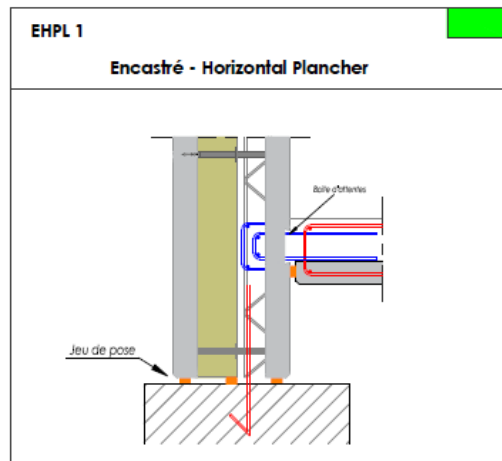
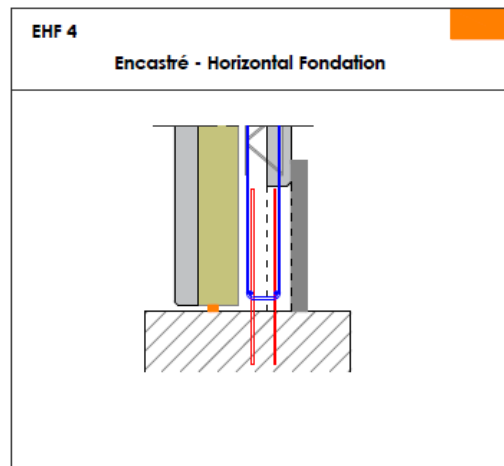
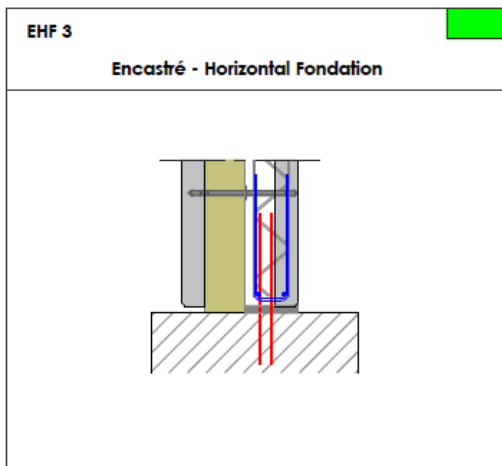
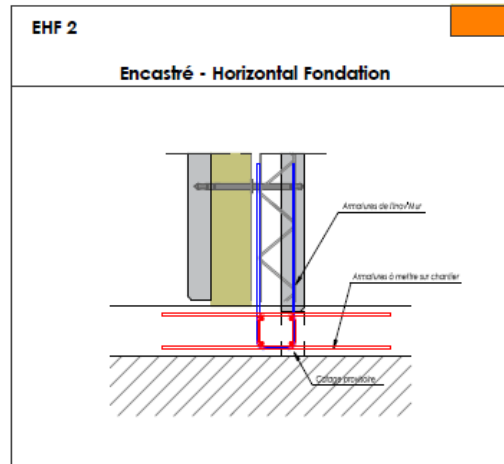
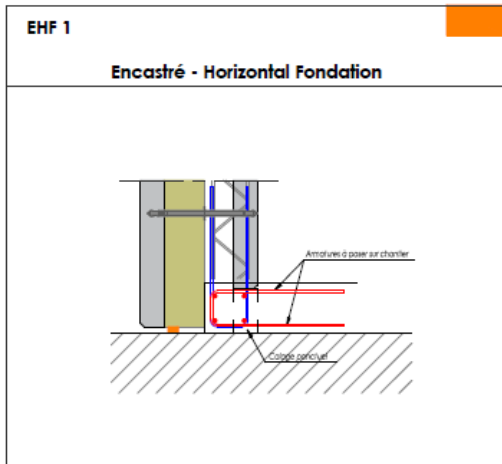
1ère étape

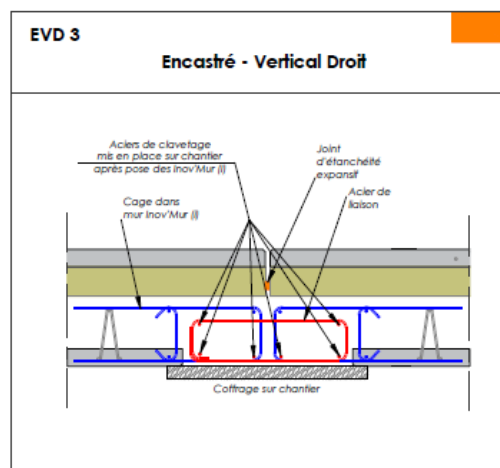
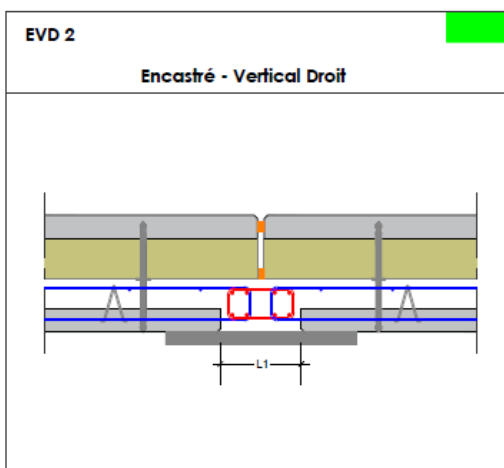
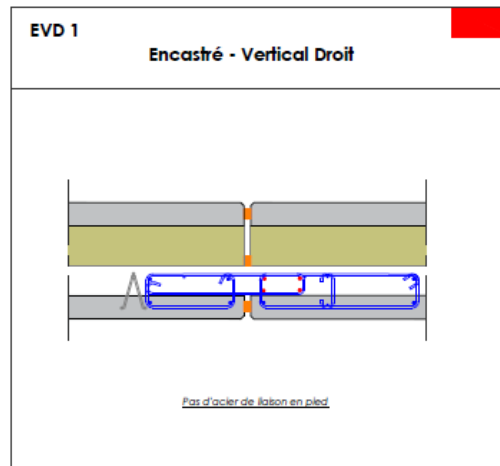
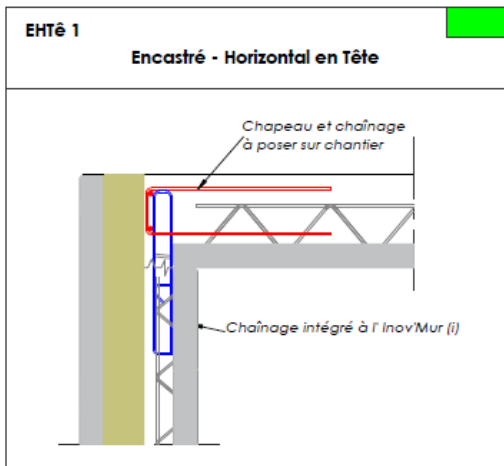
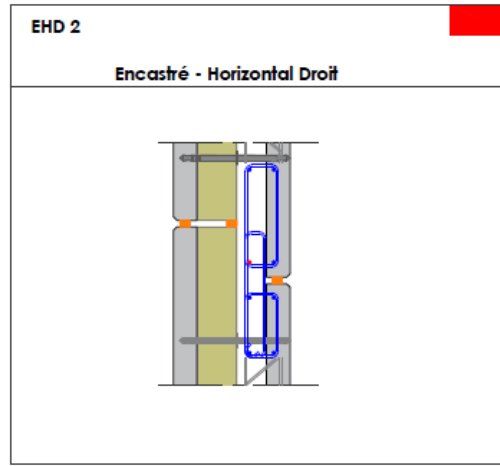
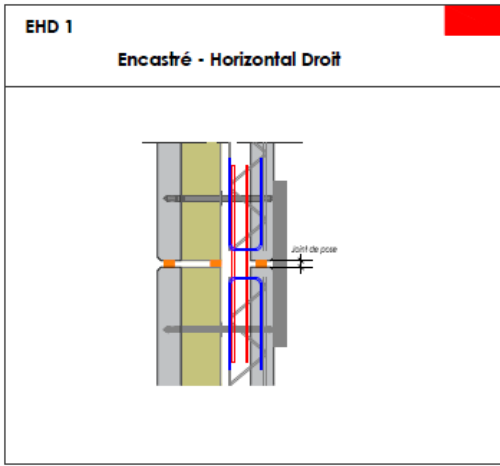


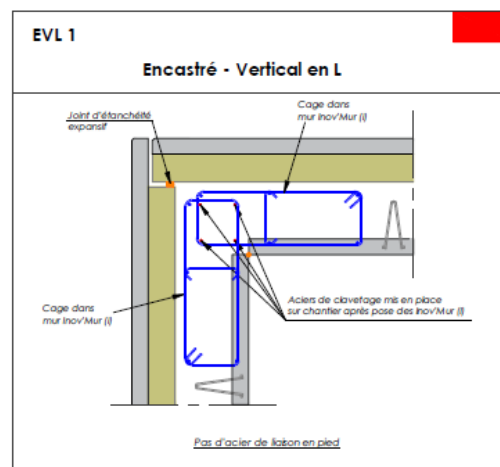
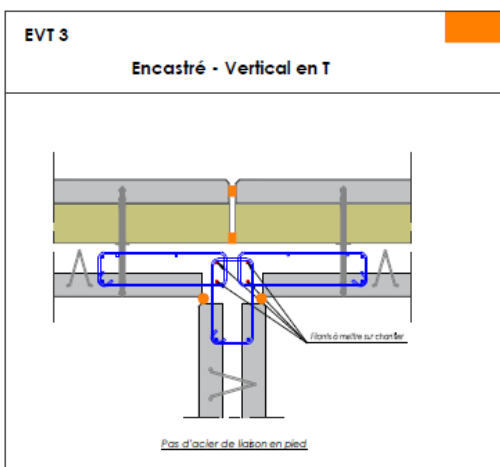
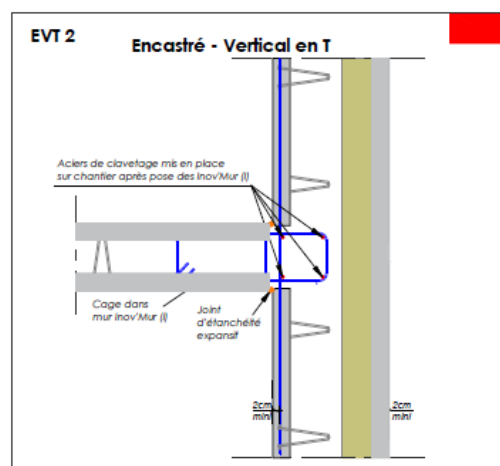
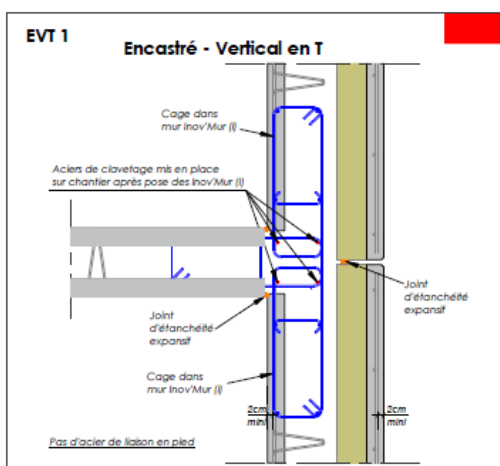
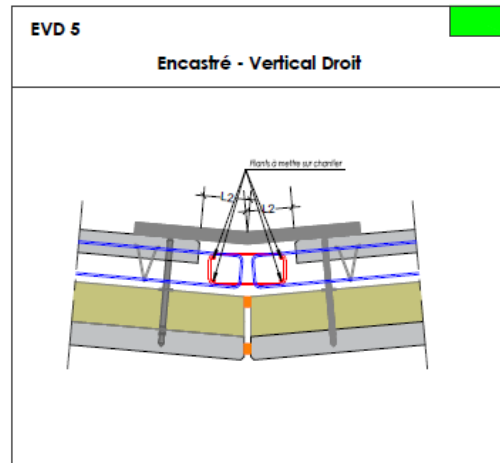
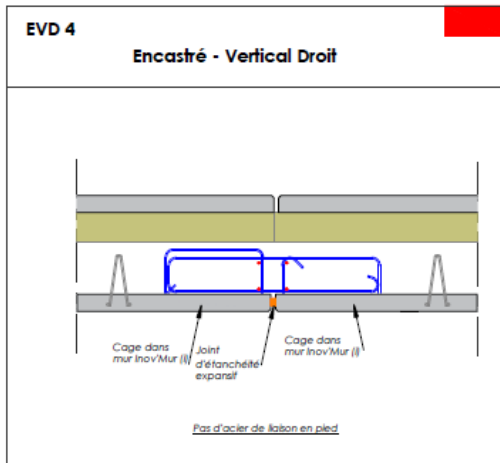
2ème étape



E4 : Catalogue des Liaisons ENCASTREES pour les Inov'Mur⁽¹⁾

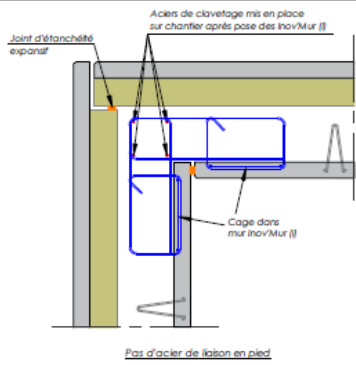






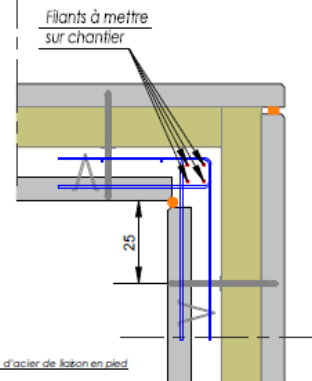
EVL 2

Encastré - Vertical en L



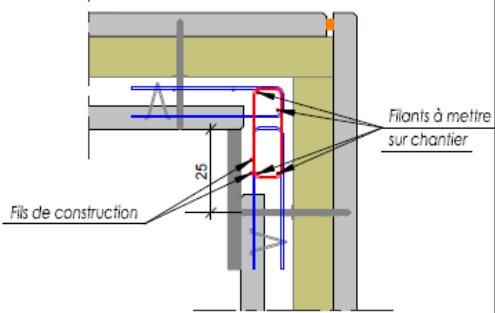
EVL 3

Encastré - Vertical en L



EVL 4

Encastré - Vertical en L



EVL 5

Encastré - Vertical en L

