

Sur le procédé

## **THERMACOFFRE et THERMACOFFRE CPT**

**Famille de produit/Procédé** : Mur à coffrage et isolation intégrés

**Titulaire(s)** : **Société H&H Technologies**

### **AVANT-PROPOS**

Les avis techniques et les documents techniques d'application, désignés ci-après indifféremment par Avis Techniques, sont destinés à mettre à disposition des acteurs de la construction **des éléments d'appréciation sur l'aptitude à l'emploi des produits ou procédés** dont la constitution ou l'emploi ne relève pas des savoir-faire et pratiques traditionnels.

Le présent document qui en résulte doit être pris comme tel et n'est donc **pas un document de conformité ou à la réglementation ou à un référentiel d'une « marque de qualité »**. Sa validité est décidée indépendamment de celle des pièces justificatives du dossier technique (en particulier les éventuelles attestations réglementaires).

L'Avis Technique est une démarche volontaire du demandeur, qui ne change en rien la répartition des responsabilités des acteurs de la construction. Indépendamment de l'existence ou non de cet Avis Technique, pour chaque ouvrage, les acteurs doivent fournir ou demander, en fonction de leurs rôles, les justificatifs requis.

L'Avis Technique s'adressant à des acteurs réputés connaître les règles de l'art, il n'a pas vocation à contenir d'autres informations que celles relevant du caractère non traditionnel de la technique. Ainsi, pour les aspects du procédé conformes à des règles de l'art reconnues de mise en œuvre ou de dimensionnement, un renvoi à ces règles suffit.

**Groupe Spécialisé n° 3.2 - Murs et accessoires de mur**

## Versions du document

Version	Description	Rapporteur	Président
V5	<p>Cette version, examinée le 04 octobre 2022, annule et remplace le DTA 3.2/17-912_V4. Elle intègre les modifications suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise à jour de la trame.</li> <li>• Mise à jour de l'Appréciation de Laboratoire n° AL16-198_V3 délivrée par le CSTB ;</li> <li>• Mise à jour des références.</li> </ul>	JUNES Angel	BERNARDIN-EZRAN Roseline

### Descripteur :

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

Le procédé est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses, en infrastructure ou superstructure, de murs périphériques pouvant contenir des poutres voiles, des poutres et des poteaux, de dimension maximale 3,80 x 12,80 m. Les épaisseurs de mur varient entre 28 et 50 cm.

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.

Le procédé Thermacoffré® fait l'objet d'une certification selon le référentiel NF 548.

Les panneaux « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » sont composés en partant de l'intérieur :

- D'une paroi intérieure (de 6 à 7 cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés ® » et de 6,5 à 7 cm d'épaisseur pour les Thermacoffrés®-CPT » ;
- D'un noyau coulé en place de 6 cm minimum toutes tolérances confondues qui correspond à une épaisseur nominale de 7,5 cm ;
- D'un isolant de 6 à 20cm d'épaisseur ;
- D'une paroi extérieure (de 6 à 7cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés ® » et de 6,5 cm à 7 cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés®-CPT »).

## Table des matières

1.	Avis du Groupe Spécialisé.....	5
1.1.	Domaine d'emploi accepté .....	5
1.1.1.	Zone géographique .....	5
1.1.2.	Ouvrages visés.....	5
1.2.	Appréciation.....	5
1.2.1.	Aptitude à l'emploi du procédé .....	5
1.2.2.	Durabilité .....	7
1.2.3.	Impacts environnementaux .....	7
1.3.	Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé .....	8
1.4.	Annexe – CMU des BOUCLES de LEVAGE.....	9
2.	Dossier Technique.....	10
2.1.	Mode de commercialisation .....	10
2.1.1.	Coordonnées.....	10
2.1.2.	Identification.....	10
2.2.	Description.....	10
2.2.1.	Principe.....	10
2.2.2.	Présentation générale.....	10
2.2.3.	Caractéristiques des composants.....	11
2.3.	Conception de la paroi extérieure.....	16
2.3.1.	Généralités.....	16
2.3.2.	Dimensionnement des connecteurs .....	16
2.3.3.	Epaisseur de la paroi et armatures intégrés à la paroi extérieure.....	18
2.3.4.	Calepinage .....	19
2.3.5.	Dispositions particulières aux murs enterrés .....	19
2.3.6.	Charges permanentes suspendues à la paroi extérieure.....	19
2.4.	Conception de l'isolant .....	20
2.4.1.	Isolation thermique.....	20
2.4.2.	Isolation acoustique .....	21
2.5.	Conception de la partie structurale (paroi intérieure et noyau).....	21
2.5.1.	Prescriptions communes aux procédés Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT .....	21
2.5.2.	Prescriptions particulières aux « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT » essentiellement sollicités dans leur plan. 38	38
2.5.3.	Prescriptions particulières aux « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés CPT » essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan .....	45
2.6.	Conditions de fabrication .....	46
2.6.1.	Fabrication .....	46
2.6.2.	Contrôle de fabrication.....	47
2.6.3.	Caractéristiques dimensionnelles et tolérances.....	47
2.6.4.	Finitions et Aspect.....	48
2.6.5.	Condition de manutention et transport .....	48
2.7.	Prescriptions concernant le transport des panneaux.....	48
2.7.1.	Prescriptions concernant le stockage des panneaux sur chantier.....	48
2.8.	Dispositions de mise en œuvre .....	48
2.8.1.	Equipements nécessaires à la pose .....	49
2.8.2.	Dimensionnement des lests et étais de stabilisation provisoire .....	49
2.8.3.	Préparation du chantier.....	49
2.8.4.	Réception du chargement et réalisation du déchargement.....	49
2.8.5.	Pose des MCII de hauteur courante.....	50

2.8.6.	Pose des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT de hauteur > 3,80 m.....	50
2.8.7.	Bétonnage.....	50
2.8.8.	Tolérances de pose des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	50
2.9.	Étanchéité-traitement des joints .....	51
2.9.1.	Prescriptions communes.....	51
2.9.2.	Murs courants superstructure.....	51
2.9.3.	Murs courants en infrastructure .....	52
2.10.	Conditions d'exploitation du procédé.....	52
2.10.1.	Conception et commercialisation.....	52
2.10.2.	Fabrication .....	52
2.10.3.	Mention des justificatifs .....	53
2.11.	Annexe 1 : Poutres voiles incorporées aux MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	54
2.11.1.	Détermination des efforts sollicitants.....	54
2.12.	Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »	55
2.13.	Annexe 3 : Exemple de calcul de pa .....	56
2.14.	Annexe 4 : Exemple de calcul de.....	57
2.15.	Annexe 5 : Principe de conception des poutres voiles réalisées en MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »	58
2.16.	Annexe 6 : Dimensionnement à l'ELU standard des connecteurs disposés à 45° .....	61
2.17.	Annexe 7 : Situation Sismique.....	63
2.17.1.	Calcul du coefficient d'accélération sismique en fonction du type de bâtiment de la zone de sismicité, et de la nature du sol .....	63
2.17.2.	Dimensionnement du nombre de connecteurs en fonction de l'accélération, de l'épaisseur de la paroi extérieure et de l'isolant.....	64
2.18.	Annexe 8 : Détermination de la température dans les MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT (conformément à l'Appréciation de Laboratoire du CSTB n° AL 16-198_V3).....	71
2.19.	Annexe 9 : Justification des renforts des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sous appui ponctuel de poutres	73
2.20.	Annexe 10 : Traitement de l'étanchéité entre MCII.....	74
2.21.	Annexe 11 : Traitement des pieds et têtes de MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	75
2.22.	Annexe 12 : Traitement des baies .....	76
2.22.1.	Menuiseries posées en tableau .....	76
2.22.2.	Menuiseries posées en applique.....	76
2.22.3.	Menuiseries posées en tunnel.....	77
2.23.	Annexe 13 : Dispositions constructives générales.....	79
2.23.1.	Vue générale d'un MCII.....	79
2.23.2.	Principe d'armature des « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	80
2.23.3.	Douilles d'étalement.....	80
2.23.4.	Incorporation de poteaux aux MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	81
2.23.5.	Principe d'armature des poutres ou longrines réalisées avec des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »	81
2.23.6.	Principe d'armature de poteaux réalisés à partir de MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » .....	82
2.23.7.	Liaisons en pied du MCII .....	82
2.23.8.	Liaisons entre MCII et plancher .....	83
2.23.9.	Liaisons verticales.....	85
2.23.10.	Liaisons horizontales entre deux MCII.....	89
2.23.11.	Réalisation d'une poutre voile .....	90

# 1. Avis du Groupe Spécialisé

Le procédé décrit au chapitre 2 « Dossier Technique » ci-après a été examiné par le Groupe Spécialisé qui a conclu favorablement à son aptitude à l'emploi dans les conditions définies ci-après :

---

## 1.1. Domaine d'emploi accepté

---

### 1.1.1. Zone géographique

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.

L'avis est formulé pour une utilisation en France métropolitaine.

### 1.1.2. Ouvrages visés

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 NF DTU 20.1 partie 3 § 5.2). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies et approuvées ci-après.

L'utilisation dans les ouvrages à la mer ou exposés aux embruns ou aux brouillards salins (selon la définition de la classe d'exposition XS1 définie dans l'Annexe nationale à l'Eurocode 2 partie 1-1, Notes au Tableau 4.1) ainsi que les ouvrages exposés à des atmosphères très agressives n'est pas visée dans le présent Avis.

L'utilisation des prédalles suspendues en situation normale et en situation sismique relève des prescriptions définies dans le NF DTU 23.4.

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

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

---

## 1.2. Appréciation

---

### 1.2.1. Aptitude à l'emploi du procédé

#### 1.2.1.1. Aptitude au levage

Ne sont pas visés au titre du présent Avis :

- Les accessoires de levage du procédé « Thermacoffré » (élingues, chaînes, sangles, câbles, ...)
- Les appareils de levage (grue mobile ou fixe, ...)
- Les équipements de protection collective ou individuelle pour la sécurité des personnes (garde-corps, crochet, ...).

L'aptitude au levage du procédé est visée uniquement par le présent avis lorsque celui-ci est réalisé au moyen du procédé « Ancres KE III et KE IV » de la société H-Bau : Seuls sont visés les murs d'épaisseur totale comprise entre 25,5 cm et 40 cm et pour une épaisseur nominale de paroi préfabriqué d'au moins 60 mm, dans les conditions décrites dans l'Avis Technique « Ancres KE III et KE IV » en cours de validité.

#### 1.2.1.2. Stabilité

La stabilité des ouvrages à laquelle peuvent être associés, dans les limites résultant de l'application des prescriptions du Dossier Technique 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).

#### 1.2.1.3. 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.

Le dimensionnement des connecteurs vis-à-vis des actions du séisme a fait l'objet d'une étude du CSTB qui permet au détenteur du procédé de déterminer, en fonction de l'accélération sismique à prendre en compte et de la dimension des joints entre panneaux, le nombre de connecteurs nécessaires (connecteurs inclinés et connecteurs droits) et leurs positions.

#### 1.2.1.4. Sécurité au feu

##### 1.2.1.4.1. Réaction au feu

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

### 1.2.1.4.2. Résistance au feu

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » font l'objet d'une Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3. Les « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » visés par cette Appréciation de laboratoire ont une épaisseur d'isolant comprise entre 6 et 20 cm. L'utilisation des murs « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » avec des épaisseurs de paroi structurale inférieures à 15 cm est exclue au regard des exigences de sécurité en cas d'incendie.

Suivant l'Appréciation de laboratoire CSTB n° AL 16-198\_V3, dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les tableaux de l'Annexe 8 du Dossier Technique donnent les champs de température dans la partie structural (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT ». La résistance au feu de la partie structurale est vérifiée suivant les prescriptions de la NF EN 1992-1-2 et son Annexe Nationale en considérant la partie structurale des murs « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » comme homogène.

L'Appréciation de laboratoire CSTB n° AL 16-198\_V3 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 connecteurs pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale. Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de déterminer le nombre de connecteurs inclinés nécessaires en fonction de durée de la stabilité au feu requise et de leur position en hauteur dans le voile.

Conformément à l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3, les connecteurs inclinés à 45° devront être disposés à une distance au-dessus des ouvertures égale à la valeur C+D requise pour un panneau incombustible et déterminée selon la destination du bâtiment, avec un minimum de 80 cm.

### 1.2.1.4.3. Propagation au feu

Vis-à-vis de la propagation du feu par les façades, l'appréciation du CSTB prescrit les dispositions constructives de protection de l'isolant lorsque celui-ci n'est pas M0. Ainsi, les pourtours des ouvertures devront être protégés par une bande de laine de roche de densité 100 à 150 kg/m<sup>3</sup> d'une épaisseur de 5 cm au minimum lorsqu'elle est protégée par une bavette métallique et 10 cm dans le cas contraire.

La validation de ces dispositions pour l'ensemble du domaine d'emploi revendiqué (y compris les bâtiments d'habitation classés de la 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> 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° 024731 délivrée par le CERIB.

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

Le système permet de l'assurer normalement.

### 1.2.1.6. 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 des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT »  $U_{DI}$  se fait par la formule suivante :

$$U_{Di} = \frac{1}{\frac{b_i}{\lambda_i} + \frac{b_1 + b_2 + b_n}{2} + 0,17} + n_c \times \chi_{connecteur}$$

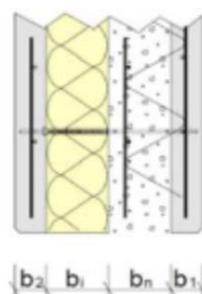
Où :

$\lambda_i$  : Conductivité thermique de l'isolant, en W/(m.K), faisant l'objet des contrôles et modes de vérifications de fabrication décrits dans le Dossier Technique Etabli par le Demandeur.

$n_c$  : densité surfacique des connecteurs

$\chi_{connecteurs}$  = valeur du pont thermique des connecteurs (W/K)

$b_i, b_1, b_2, b_n$  : épaisseurs des différentes couches des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT », représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



Le calcul des coefficients de ponts thermiques de liaison doit se faire selon les « Règles Th-Bat ».

La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les « Règles Th-Bat ». Elle doit notamment prendre en compte la présence de laine de roche sur le pourtour des baies.

#### 1.2.1.7. 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.

#### 1.2.1.8. Etanchéité 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, raccordements entre panneaux...), l'étanchéité des ouvrages et bâtiments du domaine d'emploi accepté peut-être considérée comme normalement assurée.

#### 1.2.1.9. 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.

#### 1.2.1.10. 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-Bat 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.

#### 1.2.1.11. Finitions-Aspect

Les finitions prévues sont à l'extérieur et à l'intérieur les finitions classiques sur béton. Leur comportement ne devrait pas poser de problème particulier si leurs conditions de mise en œuvre satisfont au dossier technique.

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.

#### 1.2.1.12. 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.

#### 1.2.1.13. 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.

### 1.2.2. Durabilité

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, Chapitre 2).

Moyennant les précautions de fabrication et de mise en œuvre, et les limitations précisées dans le dossier technique, 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.

### 1.2.3. Impacts environnementaux

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » ne font pas l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 août 2015.

Pour revendiquer une performance environnementale, les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » doivent faire l'objet d'une Déclaration Environnementale (DE) au sens de l'arrêté du 31 août 2015.

Il est rappelé que les DE n'entrent pas dans le champ d'examen d'aptitude à l'emploi du procédé.

---

### **1.3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé**

---

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » ont un fonctionnement assimilable aux murs à voile extérieur librement dilatable. A ce titre, le Groupe tient à souligner que l'organisation des panneaux doit permettre ce fonctionnement grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment.

Les règles de dimensionnement se basent sur celles du CPT MCI Cahier du CSTB 3690\_V2, tout en appliquant les principes de l'Eurocode 8 pour les aspects sismiques.

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

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

Le groupe tient à préciser qu'une épaisseur de 60 mm de la peau extérieure ne conviendra pas à certains cas d'exposition, de par les exigences vis-à-vis de l'enrobage minimal extérieur et intérieur à respecter.

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

## 1.4. Annexe – CMU des BOUCLES de LEVAGE

La présente annexe fournit les valeurs de la Charge Maximale d'Utilisation (CMU) par boucle pour les murs à coffrage intégré « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » d'épaisseur au plus égale à 400 mm et pour lesquels l'épaisseur nominale des parois est au moins égale à 60 mm. Les boucles associées relèvent de l'Avis Technique « Ancres de levage KE III et KE IV » détenu par la société H-BAU. Les boucles sont utilisées dans les conditions de l'Avis Technique qui leur est propre et qui est en cours de validité.

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

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

Réf. boucle	Diamètre boucle	Epaisseur nominale du mur	Epaisseur minimale paroi	Enrobage interne effectif de la boucle	Enrobage extérieur effectif de la boucle	Levage position verticale	en	Levage à plat du MCII	Retournement du MCII
	$\varnothing_1$	<b>b</b>	<b>h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>1bc,int</sub>, C<sub>2bc,int</sub></b>	<b>C<sub>1bc,ext</sub>, C<sub>2bc,ext</sub></b>	<b>CMU1</b>		<b>CMU2</b>	<b>CMU3</b>
KE III	13 mm	25,5 à 40 cm	≥ 60 mm	≥ 10 mm	≥ 15 mm	21,80 kN		4,25 kN	13,30 kN
KE IV	15,5 mm	25,5 à 40 cm	≥ 60 mm	≥ 15 mm	≥ 20 mm	45,30 kN		Non visé	20,70 kN

**Tableau 1 – CMU des boucles intégrées au « Thermacoffré® »**

Où  $\varnothing_{1\&nbsp;bsp}$ , correspond au diamètre de l'acier façonné de l'ancre de transport KE

Réf. boucle	Diamètre boucle	Epaisseur nominale du mur	Epaisseur minimale paroi	Enrobage interne effectif de la boucle	Enrobage extérieur effectif de la boucle	Levage position verticale	en	Levage à plat du MCII	Retournement du MCII
	$\varnothing_1$	<b>b</b>	<b>h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub></b>	<b>C<sub>1bc,int</sub>, C<sub>2bc,int</sub></b>	<b>C<sub>1bc,ext</sub>, C<sub>2bc,ext</sub></b>	<b>CMU1</b>		<b>CMU2</b>	<b>CMU3</b>
KE III	13 mm	26,5 à 40 cm	≥ 65 mm	≥ 10 mm	≥ 15 mm	17,45 kN		3,40 kN	10,65 kN
KE IV	15,5 mm	26,5 à 40 cm	≥ 65 mm	≥ 15 mm	≥ 20 mm	36,25 kN		Non visé	16,55 kN

**Tableau 1bis – CMU des boucles intégrées au « Thermacoffré®-CPT »**

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

**Tableau 2 – Vérification de la résistance des boucles au levage**

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

$p$  = poids surfacique du mur de coffrage intégré [kN/m<sup>2</sup>]

$A$  = surface du mur de coffrage intégré [m<sup>2</sup>]

$Q$  = poids des équipements de sécurité éventuels [kN]

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

$\gamma_{ed}$  = coefficient d'effet dynamique dû au levage = 1,15

$\gamma_{pp}$  = coefficient d'incertitude sur poids propre = 1,05

## 2. Dossier Technique

Issu des éléments fournis par le titulaire et des prescriptions du Groupe Spécialisé acceptées par le titulaire

---

### 2.1. Mode de commercialisation

---

#### 2.1.1. Coordonnées

Titulaire :  
H&H Technologies SARL  
4, rue de HOERDT  
67550 ECKWERSHEIM

#### 2.1.2. Identification

Les « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » sont identifiés par une étiquette qui mentionne :

- Le numéro et le nom de la commande ;
- Le numéro du plan ;
- Le numéro du colis ;
- Le numéro du MCII ;
- Le nom de l'usine ;
- Le poids de l'élément.

---

### 2.2. Description

---

#### 2.2.1. Principe

Les procédés de mur à coffrage et isolation intégrée Thermacoffrés® et Thermacoffrés® CPT sont destinés à la réalisation de murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels.

En situation enterré et lorsque l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi au sens du NF DTU 20.1 partie 3 §5.2 (sous-sol de deuxième catégorie), les panneaux pourront comporter une partie enterrée de 1 m.

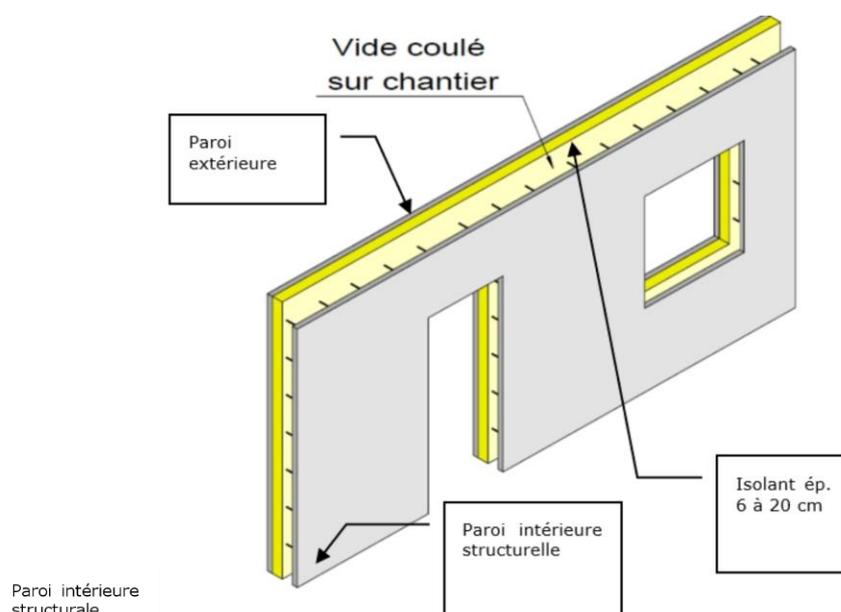
Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré®-CPT » sont utilisables en zones de sismicité 1 à 4 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié).

Le procédé « Thermacoffré® » fait l'objet d'une certification NF 548.

#### 2.2.2. Présentation générale

Les panneaux « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » sont composés en partant de l'intérieur :

- D'une paroi intérieure (de 6 à 7 cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés® » et de 6,5 à 7 cm d'épaisseur pour les Thermacoffrés®-CPT) 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 place de 6 cm toutes tolérances confondues qui correspond à une épaisseur nominale de 7,5 cm. Ce vide pourra être équipé d'une nappe d'armature à la fabrication ;
- D'un isolant de 6 à 20 cm d'épaisseur ;
- D'une paroi extérieure (de 6 à 7 cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés® » et de 6,5 cm à 7 cm d'épaisseur pour les « Thermacoffrés®-CPT ») équipée d'une nappe d'armature. Cette paroi extérieure est assemblée à la paroi intérieure par des connecteurs en fibres de verre. Elle peut être portée par une longrine, dallage, radier, lorsque les panneaux ne sont pas superposés.



**Figure 1 Principe**

Les épaisseurs du mur varient entre 28 et 50 cm.

Une ou deux faces peuvent être matricées. Pour respecter les enrobages minimums des armatures et tenir compte de la structure et des tolérances de la matrice la paroi extérieure pourra être supérieure à 70 mm

Les liaisons verticales entre les MCII sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées au MCII

L'encastrement des MCII dans le radier ou la semelle est réalisé par des armatures en attentes dans la fondation ou intégrées aux murs.

L'encastrement du MCII dans les angles ou avec d'autres ouvrages est réalisé par des armatures intégrées aux murs ou disposées dans le béton coulé en place.

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » 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 MCII. De même, les menuiseries, gaines des fluides, boîtiers, platines, négatifs, goujons, douilles et autres équipements peuvent être incorporés aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » ou rapportés sur chantier dans des réservations prévues à cet effet.

L'étanchéité des MCII est assurée soit par un dispositif rapporté, soit par un traitement de surface, soit par lui-même moyennant des dispositions spécifiques décrites dans le dossier technique ci-après.

### 2.2.3. Caractéristiques des composants

#### 2.2.3.1. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la fabrication et la mise en œuvre des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » sont :

- Le béton des parois préfabriquées ;
- Le béton de remplissage ;
- Les armatures intégrées aux parois et armatures complémentaires ;
- Les boucles de levage ;
- L'isolant ;
- Les connecteurs en fibres de verre ;
- 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 paragraphes ci-après.

#### 2.2.3.2. Le béton des parois du MCII

Le béton réalisé en usine est conforme à la norme NF EN 13369 et NF EN 206/CN concernant les classes d'environnement.

Granulométrie : sable 0/4 gravillons 4/8 et 8/16. La classe de résistance est C40/50.

La résistance en compression sur cube 10x10x10 cm est au minimum de 20 MPa à la première manutention par les boucles de levage et à la livraison.

### 2.2.3.3. Le béton de remplissage

Le béton de remplissage est un Béton Prêt à l'Emploi, conforme au projet et à la norme NF EN 206/CN. Sa résistance caractéristique minimale à 28 jours est de 25 MPa (classe de résistance mini C25/30) :

- Pour des panneaux avec un noyau d'épaisseur inférieure ou égale à 9 cm : micro béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulats  $D_{max} = 12,5$  mm,
- Pour des panneaux avec un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm : utilisation d'un béton avec une dimension nominale supérieure du plus gros granulats  $D_{max}$  égale à 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 est obtenue par ajout d'un superplastifiant haut réducteur d'eau conforme à la norme NF EN 934-2.

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 ferraiillées.

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

Pour le calcul de la contrainte d'adhérence béton-acier  $f_{bd}$ , sauf dans les cas où la vibration est aisée, il faut considérer un coefficient d'adhérence  $\eta_1 = 0,7$  pour des armatures horizontales de diamètre supérieur à 12 mm. Dans tous les autres cas, le coefficient d'adhérence  $\eta_1 = 1,0$

### 2.2.3.4. Les armatures

#### 2.2.3.4.1. Armatures incorporées aux parois

Les aciers utilisés pour la fabrication des armatures des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont de classe de résistance B500A (hors exigences sismiques) ou B500B et répondent aux exigences suivantes :

- B500 : acier en barres filantes ou façonnées intégrées aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », conforme à la norme NF EN 10080 ;
- TSHA B500 : panneaux de treillis soudés intégrés aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » ou utilisés en acier de liaison, conforme à la norme NF EN 10080.

#### 2.2.3.4.2. Les raidisseurs

De façon courante les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont réalisés avec des raidisseurs de forme triangulaire du commerce de type CKT d'Intersig, Acor et KT de BDW qui sont fabriqués suivant des hauteurs standard. Les résistances à la soudure déclarées doivent être au moins de 980 daN (arrondi à la dizaine inférieure de la valeur de la force disponible à la limite élastique pour une diagonale de diamètre 5 mm). Les raidisseurs sont certifiés NF.

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

Les cages d'armatures réalisées dans l'atelier d'armatures de l'usine 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 parois/noyau ou en chevêtre d'ouverture.

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

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

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

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

#### 2.2.3.4.3. Les armatures complémentaires

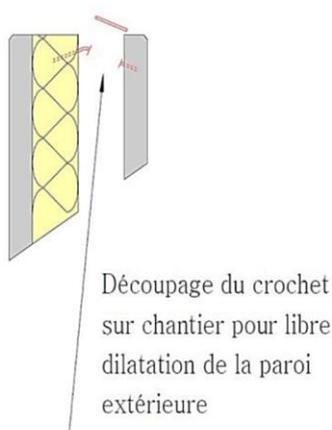
Des armatures complémentaires peuvent être disposées ou ancrées en attentes dans le noyau coulé en place. Elles peuvent être en HA, en Treillis soudé ou en pièces métalliques assemblées (platines, rail...).

### 2.2.3.5. Les boucles de levage

La manutention, tant pour le démoulage que le stockage, le transport et la pose des éléments est réalisé à partir des organes de levage KE III et KE IV pour la gamme couverte par leur Avis Technique en cours de validité

Un MCII comportera, en partie supérieure, au minimum 2 boucles de levage.

Pour les éléments de grande hauteur, devant être transporté sur chant, ils seront équipés de 2 levages en tête et 2 levages sur chant.



**Figure 2 Découpage des boucles de levage sur chantier au ras de l'isolant, à préciser sur les plans de pose**

### 2.2.3.6. Les panneaux isolants thermiques et ou acoustiques

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 60 à 200 mm. Il fait l'objet d'un classement ACERMI dont les performances sont au moins I2S1O2L3E2.

Pour un classement sous toute autre réglementation ou pour une réglementation ou pour des performances mécaniques inférieures il est 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  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$ . Pour des exigences Thermiques supérieures un isolant de type mousse rigide polyuréthane certifié Acermi peut être utilisé.

Des isolants de type laine minérale présentant les caractéristiques minimales ci-dessus nécessaires à leur mise en œuvre peuvent être également utilisés. Dans tous les cas, les 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 : NF EN 13165 ;
- Laine minérale (uniquement autour des menuiseries) : norme NF EN 13162. La protection au pourtour des baies pourra être assurée par une bande de laine de roche de densité 100 à 150 kg/m<sup>3</sup>, d'épaisseur minimum 10 cm.

### 2.2.3.7. Les connecteurs

#### 2.2.3.7.1. Généralités

Les connecteurs qui relient les parois intérieures et extérieures sont des barres composées de fibres de verre enrobées de résine. La fabrication est de type pultrudé. Chaque fibre est enrobée de résine de façon individuelle avant que le faisceau de fibres soit comprimé. Cette fabrication permet d'obtenir une très grande résistance au vieillissement accéléré et aux environnements agressifs et alcalins comme le montrent les essais réalisés au laboratoire du CSTB à Grenoble. Cette fabrication se différencie d'autres types de fabrication ou c'est le faisceau de fibres qui est enrobé de résine.

Les connecteurs sont répartis suivant une maille de 50 x 50 cm au maximum.

Ce procédé de liaison répartie garantit la libre dilatation de la paroi extérieure et rend possible la réalisation de panneaux de grandes dimensions. (3,8 m x 12,8 m).

Une ou deux lignes de connecteurs disposées à 45° par rapport au plan moyen assurent la reprise du poids propre de la paroi extérieure lorsque la paroi extérieure est suspendue c'est-à-dire lorsqu'elle ne repose pas sur la fondation, longrine, radier ou dalle.

Les connecteurs Thermomass de section rectangulaire 9,8 x 5,7 mm fraisés en queue d'aronde à chaque extrémité sont équipés de manchette en styrène.

#### 2.2.3.7.2. Les connecteurs Thermomass

Les connecteurs Thermomass TM en fibres de verre (borosilicate) enrobées de résine (vinylester) de section 9,8 x 5,7 mm et équipés d'une manchette en styrène qui garantit le positionnement du connecteur dans l'isolant et le bon ancrage des queues d'aronde dans le béton.

Section (section réduite)	50,5 mm <sup>2</sup>
Masse volumique	1850 kg/m <sup>3</sup>
Inertie dans le sens de la largeur $I_w$	112,5 mm <sup>4</sup>
Inertie dans le sens de la hauteur $I_s$	374,0 mm <sup>4</sup>
Module d'élasticité en flexion $E_{ab}$	30000 N/mm <sup>2</sup>
Module d'élasticité en compression traction $E_{az}$	40000 N/mm <sup>2</sup>
Coefficient de poisson	0,27
Résistance à la traction	850 MPa
Allongement à la rupture	2,1%
Conductibilité thermique	0,303 W/(m.°C)
Coefficient de dilatation	$(9 \pm 2) \times 10^{-6}$ m/(m.°C)

**Tableau 1 Caractéristiques du connecteur TM**

Les connecteurs TM 90° sont disposés perpendiculairement au plan moyen du panneau et répartis uniformément suivant une maille de 50 x 50 cm au maximum.

La longueur  $L_c$  (en mm) du connecteur TM 90° est définie par la relation suivante :

$$L_c = t + d_s + d_n + t$$

Avec :

- $t$  = longueur d'ancrage dans les parois = 50 mm,
- $d_s$  = épaisseur de l'isolant (en mm)
- $d_n$  = largeur du noyau (en mm)

Les connecteurs TM 45° sont équipés d'une manchette en styrène positionnée à 45° (par rapport à l'axe du connecteur) qui garantit le positionnement du connecteur à 45° par rapport au plan moyen du panneau

Ils sont situés en zone centrale entre le maillage des connecteurs TM 90° et couturent la paroi extérieure au noyau coulé en place.

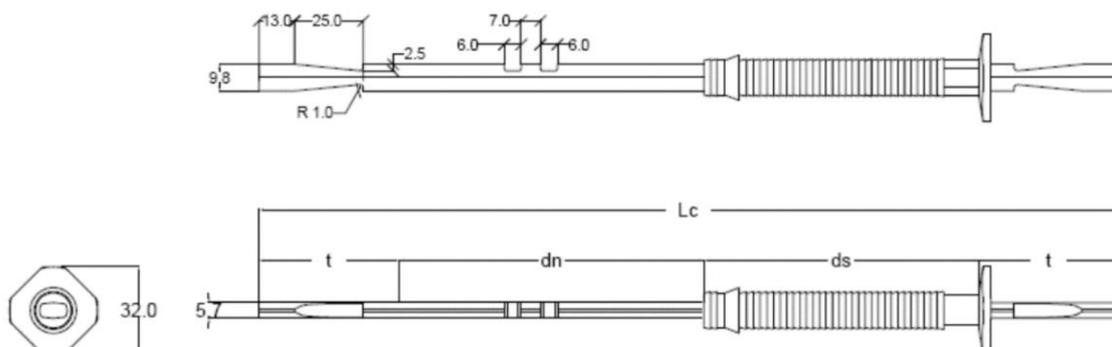
Compte-tenu de la faible raideur des connecteurs, leur position n'a que peu d'importance. Dans le cas de panneaux avec baies, les connecteurs TM 45° peuvent être disposés au-dessus des baies à condition de vérifier les dispositions feu ci-dessous (cf. 2.3.2.5 Justification au feu de la liaison entre la paroi librement dilatable et le voile structural.)

La longueur  $L_c$  (en mm) du connecteur TM 45° est définie par la relation suivante :

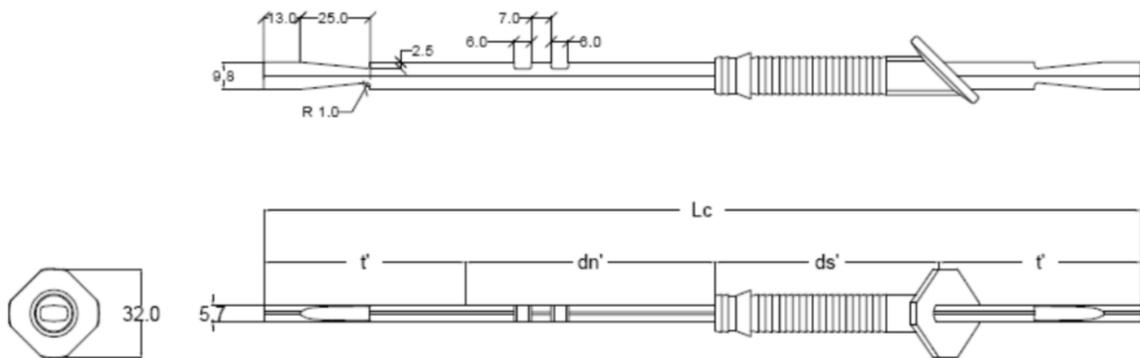
$$L_c = t' + d_s' + d_n' + t'$$

Avec :

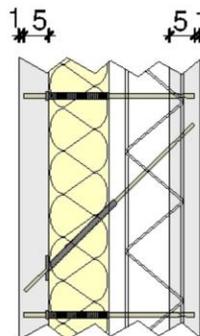
- $t'$  = longueur d'ancrage dans la paroi préfabriquée = 70 ou 60 mm,
- $d_n'$  = longueur d'ancrage dans le noyau = épaisseur du noyau (en mm) x 1,414
- $d_s'$  = épaisseur de l'isolant (en mm) x 1,414



**Figure 3 Détail d'un connecteur 90°**



**Figure 4 Détail d'un connecteur TM45°**



**Figure 5 Principe de disposition des connecteurs TM 90° et 45°**

#### 2.2.3.8. Les douilles

Des douilles métalliques type M16, M20 ou équivalent sont scellées dans la paroi intérieure du panneau. Elles assurent la stabilité en phase provisoire des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » avec les étais tire-pousse pendant le montage et le bétonnage. Elles sont utilisées en combinaison avec des vis métalliques adaptées M16, M20 longueur 45 mm.

#### 2.2.3.9. Les matériaux de jointoiement et d'étanchéité des procédés Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT

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

- Mortier riche de réparation sans retrait (type SIKA ou autre),
- Mastic pour joints 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,
- Etanchéité rapportée (voir chapitre spécifique),
- 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.

#### 2.2.3.10. Les matériaux d'habillage ou de traitement d'intérieur ou extérieur (selon leur destination)

Les parois des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont prêtes à recevoir tout type d'enduits ou peinture tels que :

- Lasure,
- Peinture avec bouche pores préalable s'il y a lieu,
- Carrelage de parement ou pierre collée,
- Enduit hydraulique.

#### 2.2.3.11. 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.

## 2.3. Conception de la paroi extérieure

### 2.3.1. Généralités

Les parois extérieures des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT en béton armées sont conçues de façon à être librement dilatable :

- En supprimant tout contact rigide avec un autre panneau,
- En reliant la paroi extérieure à la paroi intérieure porteuse avec des connecteurs en fibres de verre de faible rigidité.
- En veillant à ce que tous les éléments de structure qui sont reliés à la partie structurelle des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » ne prennent pas appuis sur la paroi librement dilatable, et ne la mettent pas en charge.

### 2.3.2. Dimensionnement des connecteurs

#### 2.3.2.1. Généralités

Les connecteurs courants TM 90° répartis uniformément sur toute la surface suivant une maille de 50 x 50 (au maximum) et disposés perpendiculairement au plan moyen du panneau assurent la reprise :

- Des efforts tractions engendrés par la dépression du vent ;
- Des efforts de cisaillement engendrés par le différentiel de température entre les parois extérieure et intérieures (dilatation de la paroi extérieure) ;
- Des efforts de traction dus au gradient de températures dans l'épaisseur de la paroi extérieure (tuilage) ;
- Des sollicitations sismiques ;
- Des sollicitations engendrées par le feu.

La distance d'un connecteur par rapport au bord d'un panneau est comprise entre 10 à 25 cm.

Quels que soient les panneaux et notamment pour les panneaux avec ouvertures, il convient d'adapter la densité des connecteurs à 45° disposés verticalement de façon à assurer l'équilibre des moments (le centre de raideur des connecteurs et le poids du voile librement dilatable doivent être alignés verticalement), ou bien de déterminer pour chaque connecteur les efforts réels en fonction de la répartition retenue.

Une ou deux lignes de connecteurs disposé à 45° par rapport au plan moyen des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », et de préférence sur ou de part et d'autre de l'axe de gravité horizontal assurent la reprise du poids propre de la paroi extérieure lorsque la paroi extérieure est suspendue c'est-à-dire quelle ne repose pas sur la fondation, longrine, radier ou dalle. Les connecteurs TM 45° sont également sollicités par les efforts de traction et cisaillement engendrés par le vent, le différentiel et gradient de température, les secousses sismiques et le feu.

#### 2.3.2.2. Résistance admissible du connecteur TM

	Cisaillement	Traction
Raideur moyenne (kN/m)	$73 \times \left(\frac{8}{l}\right)^3$	$1000 \times \left(\frac{8}{l}\right)$
Résistance caractéristique (kN)	$V_{Rk} = 0,75 \times \frac{8}{l}$	$N_{Rk} = 13,6 \text{ kN}$
Résistance à l'ELU statique (kN)	$V_{Rd} = \frac{V_{Rk}}{1,2 \times 2}$	$N_{Rd} = \frac{N_{Rk}}{1,2 \times 2} = 5,67 \text{ kN}$
Résistance à l'ELU dynamique (kN)	$V_{Rd} = 0,4 \times V_{Rk} / 1,2 = \frac{V_{Rk}}{3}$	$N_{Rd} = 0,4 \times \frac{N_{Rk}}{1,2} = 4,53 \text{ kN}$
Résistance de calcul au jeune âge (kN)	-	$N_{Rd} = 4 \text{ kN}$

**Tableau 2 - Résistance du connecteur TM pour un ancrage minimal de 50 mm**

Avec  $l$  = longueur libre du connecteur en cm

#### 2.3.2.3. Dimensionnement à l'ELU standard des connecteurs disposés à 90° et 45°

##### 2.3.2.3.1. Critères de dimensionnement des connecteurs

En traction :  $N_{Ed} \leq N_{Rd}$

$N_{Rd}$  = résistance de calcul en traction sous chargement statique = 5,67 kN/ connecteur

Au cisaillement :  $V_{Ed} \leq V_{Rd}$

$V_{Rd}$  = résistance de calcul au cisaillement sous chargement statique =  $0,3125 (0,08,^{e_i})$  kN/connecteur

Avec  $e_i$  = longueur libre = épaisseur de l'isolant

Les sollicitations combinées en traction et cisaillement devront vérifier le critère suivant :

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 1$$

### 2.3.2.3.2. Vérification des connecteurs TM 90° à l'ELU courant

Les effets de la température et du vent sont susceptibles de se combiner dans le cas des connecteurs à TM 90.

Lorsque le vent est l'action variable principale on a :  $1,35G + 1,5W + 0,9T$  :

- Traction :  $N_{Ed1_90} = 1,5N_{W90} + 0,9N_{T90}$
- Cisaillement :  $V_{Ed1_90} = 1,35V_{G90} + 0,9V_{T90}$

Lorsque la température est l'action variable principale on a :  $1,35G + 1,5T + 0,9W$  :

- Traction :  $N_{Ed2_90} = 1,5N_{T90} + 0,9N_{W90}$
- Cisaillement :  $V_{Ed2_90} = 1,35V_{G90} + 1,5V_{T90}$

L'effort de cisaillement résultant des contributions dues au poids propre de la paroi extérieure et à la température sera maximal pour les dimensions de panneaux les plus importantes dans le plan et pour l'épaisseur d'isolant minimal.

Pour le cisaillement c'est la 2<sup>ème</sup> combinaison qui est dimensionnante :

$$1,35 \frac{V_{G90}}{V_{Rd}} + 1,5 \frac{V_{T90}}{V_{Rd}} \leq 0,9$$

### 2.3.2.3.3. Vérification des connecteurs TM 45° à l'ELU courant

L'Eurocode 0 définit les combinaisons d'actions à prendre en compte. Etant donné les sollicitations dues au poids propre, vent, différentiel et gradient de température, la seule combinaison pertinente à considérer pour ce type de connecteur est celle qui vise les variations de température comme action principale :  $1,35G + 1,45T + 0,9W$ , d'où

- Traction :  $N_{Ed_45} = 1,35N_{G45}$
- Cisaillement :  $V_{Ed_45} = 1,5V_{T45}$

Les tableaux en annexe expriment  $d_{l45}$  pour des hauteurs et longueurs/largeurs de panneau ainsi que pour des épaisseurs d'isolant de 6 à 20 cm.

### 2.3.2.4. Justification des connecteurs disposés à 45° sous chargement dynamique (sismique).

#### 2.3.2.4.1. Généralités

En fonction de la classe de la zone de sismicité, la nature du sol et la classe de bâtiment on détermine l'accélération sismique horizontale  $\gamma$  (Tableau 7 - Accélération sismiques horizontales).

La vérification consiste à s'assurer que, avec  $q_a = 1$  dans la vérification de la stabilité de la peau extérieure, la densité de connecteurs est suffisante pour à la fois reprendre les efforts générés et limiter le déplacement des parois extérieures au min. (jeu entre deux parois/2 ; jeu nominal-tolérance de pose et de fabrication) afin de supprimer le risque de choc entre deux panneaux contigus.

Cette deuxième considération est considérée comme satisfaite lorsque le déplacement calculé sous effet sismique reste inférieur au minimum des valeurs suivantes :

- La moitié de la largeur nominale du joint entre les deux parois
- La largeur nominale du joint moins les tolérances de fabrication (5 mm) et de pose (5 mm par défaut).

#### 2.3.2.4.2. Densité minimale de connecteurs TM45 à l'ELU et au déplacement sous sollicitations sismiques

On effectue une vérification à l'ELU dynamique et on vérifie que le déplacement dynamique de la paroi librement dilatable reste inférieur au minimum entre le jeu entre deux parois divisées par deux et le jeu nominal moins les tolérances de pose et de fabrication.

Le tableau en annexe 6 précise les densités de connecteurs à 45° en fonction de l'accélération, de l'épaisseur de la paroi extérieure et du jeu vertical entre panneaux.

#### 2.3.2.4.3. Justification des connecteurs disposés à 90° sous chargement dynamique (sismique)

Les connecteurs disposés à 90° sont soumis à une sollicitation combinée de traction-cisaillement ou de compression cisaillement. La justification des connecteurs disposés à 90° consiste donc à calculer la densité surfacique des connecteurs telle que la combinaison agissante de calcul ( $N_{Ed}, V_{Ed}$ ) (en valeurs positives) reste à l'intérieur du domaine limité par la droite

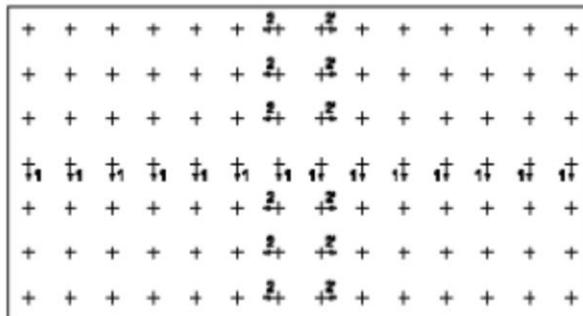
d'équation  $\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd}} = 1$  et ne risque pas de fermer le jeu vertical entre les voiles librement dilatables.

Les Tableau 10 et Tableau 14 annexe 2.17.22 précisent les densités de connecteurs TM 90° en fonction de l'accélération sismique, de l'épaisseur de la paroi extérieure et du jeu horizontal entre panneaux. La pose des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » avec calage permet de réduire la tolérance à la tolérance de fabrication de 5 mm.

Pour des raisons de fabrication, la densité de connecteurs TM 90° est limitée à 6,25 connecteurs/m<sup>2</sup> (connecteurs disposés suivant une maille de 40 x 40 cm).

Lorsque les sollicitations sismiques sont importantes, la densité de connecteurs TM 90° nécessaire pour contenir le déplacement de la paroi extérieure peut être largement  $\geq 6,25/m^2$ . Si l'architecture le permet, on peut augmenter le jeu vertical entre panneaux et ainsi libérer le déplacement horizontal admissible de la paroi extérieure librement dilatable.

Une autre solution consiste à compléter le dispositif de connecteurs par deux files (verticales) de connecteurs TM 45° orientés horizontalement respectivement vers la droite et la gauche (repères 2 et 2' figure ci-dessous) de façon à reprendre les sollicitations sismiques horizontales quelques soient leurs sens.



Avec :

- + : Connecteurs TM90° trame 50 x 50 cm au maximum
- 1 : Connecteurs TM45° orientés verticalement vers le bas
- 2 : Connecteurs TM45° orientés horizontalement vers la gauche si nécessaire
- 2' : Connecteurs TM45° orientés horizontalement vers la droite si nécessaire

Le nombre de connecteurs sur une ligne verticale (repère 2 et 2') est obtenu en multipliant la densité  $d_s$  (Tableau 11 ou Tableau 15 Annexe 2.17.2) x surface de la paroi librement dilatable. Pour d'autres hypothèses (épaisseurs de parois et isolants différents), les densités de connecteurs seront déterminées d'après le modèle de calcul ci-dessus.

Les connecteurs TM45° repérés 2 et 2' sont disposés de part et d'autre de l'axe de gravité vertical.

Lorsque le dispositif est complété par deux files de connecteurs TM45°, on considère que l'accélération sismique horizontale est reprise par les connecteurs TM45° horizontaux. On vérifiera que la densité des connecteurs TM90° est  $\geq 4$  connecteurs/m<sup>2</sup> soit une trame de 50 x 50 cm au minimum.

### 2.3.2.5. Justification au feu de la liaison entre la paroi librement dilatable et le voile structural.

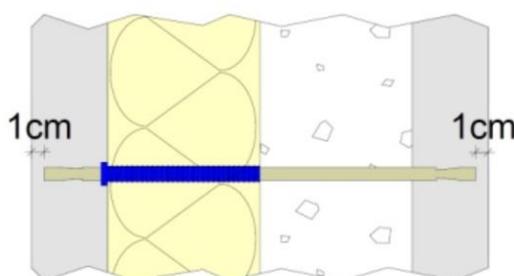
L'appréciation de laboratoire n° AL 16-198\_V3 du CSTB, prescrit les dispositions permettant de justifier la stabilité au feu du voile extérieur librement dilatable en tenant compte de la présence de l'isolant à l'intérieur des murs et de l'utilisation des connecteurs THERMOMASS à 45 ° pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale. Ces dispositions permettent au détenteur du procédé de déterminer la position et la densité des connecteurs.

Les plans mentionnent la stabilité au feu pour laquelle les connecteurs ont été dimensionnés.

### 2.3.3. Epaisseur de la paroi et armatures intégrés à la paroi extérieure

#### 2.3.3.1. Epaisseur de la paroi extérieure

La paroi aura une épaisseur minimum permettant un enrobage de 1 cm du connecteur TM. Pour un ancrage de 5 cm cette épaisseur est égale à 6 cm.



#### 2.3.3.2. Armatures minimales intégrées à la paroi extérieure

Les aciers pour armatures utilisés pour la fabrication des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » répondent aux exigences suivantes :

- NF EN 10 080 et NF A 35-080-1 pour les barres,

- NF EN 10 080 et NF A 35-080-2 pour les treillis,

Les armatures font l'objet d'une certification par un organisme tiers de type NF-AFCAB.

La paroi extérieure non structurale, comprend au minimum :

- 0,2% de la section de béton pour la longueur concernée L ou  $H \leq 6$  m
- 0,25% de la section de béton pour la longueur concernée L ou  $H > 6$  m.

### 2.3.4. Calepinage

Le calepinage des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » est conçu :

- En tenant compte des dimensions maximales de panneaux de 3,8 x 12,8 m.
- En veillant à ne pas réduire la raideur du mur dans le sens porteur privilégié
- En tenant compte des capacités de la grue de levage sachant que le poids d'un MCII avec deux parois de : 6 cm = 300 kg/m<sup>2</sup> et 6+7 cm = 325 kg/m<sup>2</sup> (cas du « Thermacoffré® »).

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. Les joints verticaux sont sans incidences.

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

Les largeurs de joint sont déterminées de façon à respecter les conditions suivantes :

- La variation dimensionnelle due au  $\Delta T$  est inférieure à 25 % de la largeur nominale du joint,
- La variation dimensionnelle est inférieure à la largeur du joint moins 10 mm,
- En fonction de la Justification des connecteurs disposés à 45° sous chargement dynamique (sismique) (§2.3.2.4) et de la Justification des connecteurs disposés à 90° sous chargement dynamique (sismique) (§2.3.2.4.3) et en conséquence de la largeur des joints déduite.

### 2.3.5. Dispositions particulières aux murs enterrés

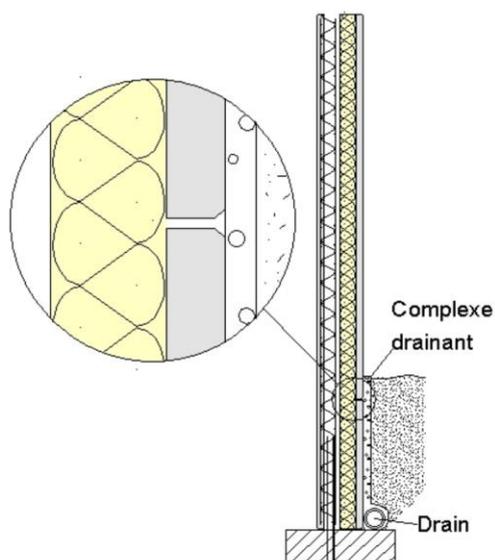
La hauteur enterrée sera calculée en fonction de la capacité de compression de l'isolant et des actions des terres.

L'utilisation des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » enterrés impose la prise en compte des règles de sécurité en vigueur relatives à ce type d'ouvrage.

Cas des murs semi-enterrés

Les murs semi-enterrés doivent présenter un fractionnement de la peau 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 ce deuxième cas, le découpage sera repéré par une empreinte dans le béton. La hauteur de ce découpage sera étudiée au cas par cas avec le bureau d'étude thermique du chantier. Le joint sera laissé ouvert pour évacuer les condensats.

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 structurale des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » afin de répondre aux poussées de terre les plus pénalisantes.



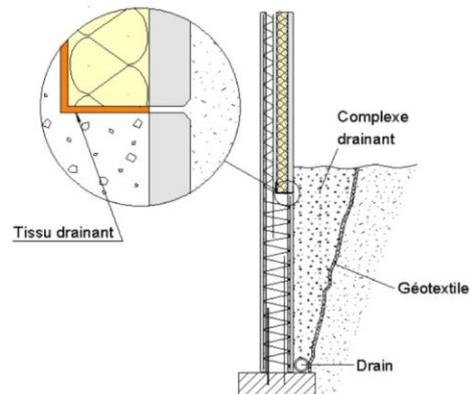
**Figure 6 - Murs semi enterrés de grandes hauteurs**

### 2.3.6. Charges permanentes suspendues à la paroi extérieure.

Les charges permanentes légères ( $< 0,5$  KN/m<sup>2</sup>) peuvent moyennant une étude spécifique du fabricant être suspendues à la paroi extérieure.

Les autres charges (casquettes enseignes) seront solidarisées au noyau coulé en place par l'intermédiaire de scellement en inox traversant le polystyrène. Pour les dispositifs sollicités en compression une cale en matériaux faiblement conducteur permettra de compenser l'épaisseur du polystyrène 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 permanente.



**Figure 7 – Murs semi enterrés hauteur importante**

## 2.4. Conception de l'isolant

### 2.4.1. Isolation thermique

L'isolant disposé entre le noyau coulé en place et la paroi extérieure détermine la performance thermique et permet de supprimer les ponts thermiques. La présence des joints est négligée.

La nature et la performance de l'isolant sera défini de façon vérifier le coefficient de transmission thermique prescrit au CCTP suivant la formule suivante :

$$U_{DI} = \frac{1}{\frac{b_i}{\lambda_i} + \frac{b_1 + b_2 + b_n}{2} + 0,17} + n_c \times \chi_{connecteurs}$$

Avec :  $\lambda_i$  : conductivité thermique de l'isolant

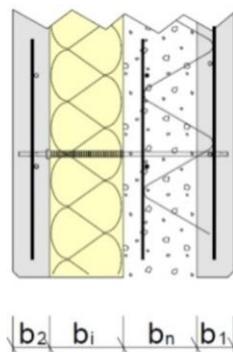
- $\chi_{connecteurs}$  : coefficient de transmission thermique ponctuel lié à la présence d'un connecteur et calculé selon les Règles Th-Bat en W/K ;  $\chi_{connecteurs} = 0,00013$  W/K soit 0,000845 W/K pour une maille de 0,4 x 0,4 m
- $b_i, b_1, b_2, b_n$  : épaisseurs des différentes couches des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »
- $n_{bc}$  = nombre de connecteurs par m<sup>2</sup>

Le calcul des coefficients de pont thermique de liaisons doit se faire selon les règles Th-Bat.

La justification de la conformité à la réglementation thermique doit se faire au cas par cas selon les règles Th-Bat.

Elle doit notamment prendre en compte la présence d'isolant en pourtour de baies ainsi qu'entre étages.

Le tableau ci-dessous définit les caractéristiques thermiques des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » avec un isolant  $\lambda = 0,032$  W/(m.K) en fonction de l'épaisseur de l'isolant, des parois intérieures et extérieures et du noyau coulé en place.



Epaisseur du mur (cm)	Epaisseur parois (cm)	Epaisseur isolant (cm)	Epaisseur vide (cm)	Epaisseur structurelle (cm)	U <sub>mur</sub> (W/m <sup>2</sup> .K)	R <sub>mur</sub> ((m <sup>2</sup> .K)/W)
30	6	8	10	16	0,36	2,78
36	6	8	16	22	0,36	2,81
36	6	10	14	20	0,29	3,43
36	6	12	12	18	0,25	4,04
36	6	14	10	16	0,21	4,66
40	6	8	20	26	0,35	2,83
40	6	10	18	24	0,29	3,45
40	6	12	16	22	0,25	4,06
40	6	14	14	20	0,21	4,68
40	6	16	12	18	0,19	5,29
40	6	18	10	16	0,17	5,91

**Tableau 3 - Caractéristiques thermiques des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » en fonction de l'ép. de l'isolant  $\lambda = 0,032 \text{ W/(m.K)}$  et 4 connecteurs / m<sup>2</sup>**

### 2.4.2. Isolation acoustique

Sous réserve d'une étude ou d'un résultat expérimental l'indice d'affaiblissement est obtenu en appliquant la loi masse à la partie structurelle, considéré comme homogène. de ce point de vue.

Il est considéré que les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » permettent d'obtenir la valeur d'affaiblissement minimale de 30 dB exigé par la réglementation.

## 2.5. Conception de la partie structurelle (paroi intérieure et noyau)

### 2.5.1. Prescriptions communes aux procédés Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT

#### 2.5.1.1. Généralité

A l'exception des prescriptions données dans ce document, les « Thermacoffrés® » et « Thermacoffré CPT » sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé (Eurocode 2, NF DTU 23.1 et NF DTU 14.1) en flexion simple ou composée avec le cas échéant une vérification de la stabilité de forme. La vérification du cisaillement à l'interface paroi/noyau est effectuée suivant le CPT MCI (cf. § A.1.2.c et Annexe 4)

Les liaisons doivent assurer la continuité mécanique entre :

- Les fondations et le MCII ;
- Entre deux MCII ;
- Entre le MCII et les éléments linéiques structurels préfabriqués ;
- Entre le MCII et les éléments surfaciques structurels préfabriqués.

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont conçus de telle sorte que chacune des parois extérieures en béton soit librement dilatable grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre panneau.

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

Lorsque c'est nécessaire le « vide » rempli de béton sur chantier pourra être équipé d'une nappe d'armature lors de la fabrication des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ».

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.

Les murs réalisés suivant les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurelle (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 16cm. Les critères d'enrobage définis dans le CPT des MCI (Cahier du CSTB 3690-V2) s'appliquent à ce procédé.

#### 2.5.1.2. Règles de dimensionnement

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurelle du mur correspond à :

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

Avec :

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

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

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

$b_1$  = épaisseur de la paroi intérieure

$b_n$  = épaisseur du noyau

Cette résistance est prise en compte pour l'ensemble des éléments incorporés dans le MCII (poteau, poutre, poutre voile...). Au niveau des joints entre les MCII, ou entre le MCII et un autre élément de structure (radier...) la résistance caractéristique équivalente  $f_{ck,eq}$  à 28 jours, prise en compte est égale à  $f_{ck,n}$ .

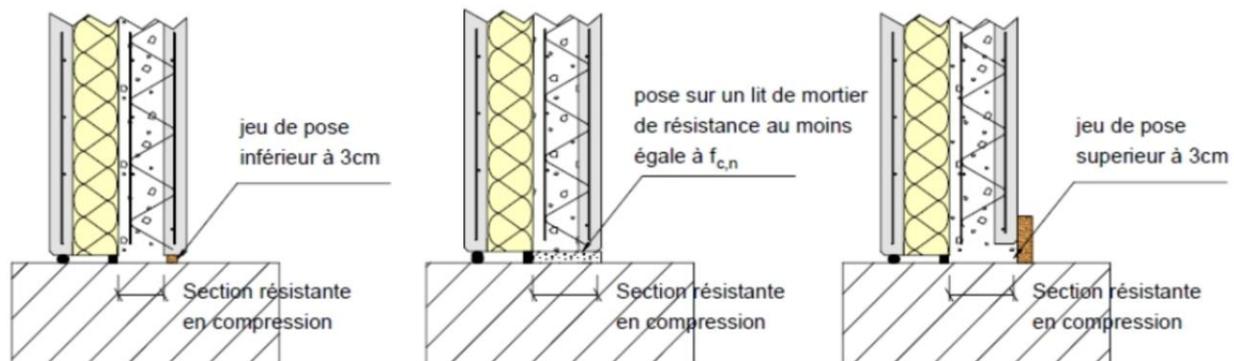
De plus, les effets de second ordre (liés au retrait différentiel des bétons préfabriqués et coulés en œuvre) doivent être pris en compte dans le dimensionnement des panneaux conformément au paragraphe 2.5.1.4 du Dossier Technique.

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

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

Dans les autres cas, la section résistante est réduite à la section de béton du noyau (Figure 8)

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



**Figure 8 - Section résistante en compression en fonction de la réalisation de l'appui en pied de « Thermacoffré®/ Thermacoffré® CPT »**

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.

Sauf calcul spécifique justifiant des valeurs différentes, l'épaisseur de la partie structurelle (paroi structurelle + noyau coulé sur chantier) est  $\geq 16$  cm.

### 2.5.1.3. Armatures minimales

Les conditions minimales présentées dans cette section sont valables quelques soit la position du « Thermacoffré®/Thermacoffré CPT » dans l'ouvrage.

Excepté des conditions plus restrictives définies dans les pièces marché de l'opération, la paroi intérieure comprend au minimum 1,2 cm<sup>2</sup>/ml d'aciers verticaux et horizontaux avec un espacement maximum des armatures dans les deux directions de 33 cm.

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

Les armatures de liaisons sont dimensionnées par le BET structure du chantier à partir des efforts à transmettre en s'appuyant sur les exemples de liaisons du présent document.

### 2.5.1.4. Prise en compte des effets du second ordre

Les effets du second ordre dus au retrait différentiel du béton du noyau par rapport au béton de la paroi n'entraîne pas de modification de la capacité résistante lorsque l'élançement  $\lambda \leq 4$ .

A titre d'exemple :

Epaisseur de la partie structurelle	16 cm	22 cm	26 cm
Hauteur libre du « Thermacoffré®/ Thermacoffré® CPT »	4 m	5 m	7 m

Lorsque  $\lambda \leq 4$ , la détermination de la capacité portante du « Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT » doit être effectuée en tenant compte d'une excentricité additionnelle  $e_{add}$  égale à :

$$e_{add} = \frac{1,5 \times 10^{-4} \times E_{v,n}}{EI_{eq}} \times \frac{b_n \times b_1}{16} \times H^2$$

Avec :

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

### 2.5.1.5. Épaisseur de la paroi structurelle et enrobages

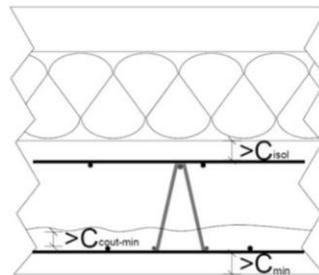
#### 2.5.1.5.1. Épaisseur minimale et maximale du Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT

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  $\Delta b_1$  sur l'épaisseur de la paroi intérieure est donnée au paragraphe 0

L'épaisseur nominale de la peau de parement doit être supérieure ou égale à 6 cm afin de garantir un ancrage des connecteurs de 50 mm toutes tolérances épuisées.

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



**Figure 9 - Définition des enrobages**

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

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

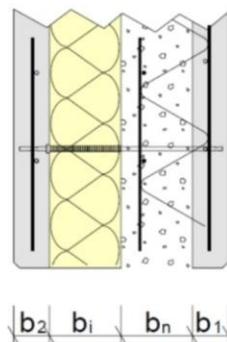
Les valeurs d'enrobage nominal sont déterminées à partir des valeurs d'enrobage minimal définies en tenant compte des tolérances d'exécution soit :

- $\Delta e_1^+$  la tolérance en plus sur l'enrobage  $e_1$  de la face structurelle
- $\Delta e_1^-$  la tolérance en moins sur l'enrobage  $e_1$  de la face structurelle ;
- $\Delta b_1^-$  la tolérance en moins sur l'épaisseur de la paroi structurelle ;

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

- $\Delta e_1^+ = 0$  mm pour le « Thermacoffré® » et 5 mm pour le « Thermacoffré® CPT » ;
- $\Delta b_1^- = 3$  mm pour le « Thermacoffré® » et 8 mm pour le « Thermacoffré® CPT » ;

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

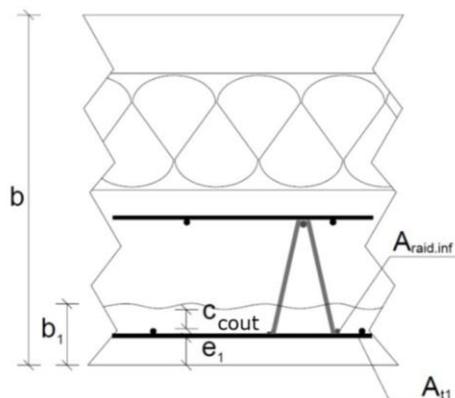


$$b_1 \geq c_{cout\_min} + e_1 + \phi_{t1} + \phi_{raid.inf} + \Delta_1$$

Avec  $\Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 3mm$  pour le « Thermacoffré® » et  $\Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 9,43 mm$  pour le « Thermacoffré CPT »

et :

- $b_1$  l'épaisseur nominale de la paroi intérieure
- $e_1$  l'enrobage nominal de la paroi intérieure
- $c_{cout\_min}$  l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la peau coffrante
- $\phi_{t1}$  le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la peau coffrante côté noyau coulé en place, de section  $A_{t1}$
- $\phi_{raid,inf}$  le diamètre des armatures inférieures du raidisseur, de section  $A_{raid,inf}$



**Figure 10 - Définition des chaînes de cotes**

#### 2.5.1.6. Calepinage des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

Le calepinage des MCII est conçu :

- En tenant compte des dimensions maximales de panneaux de 3,8 x 12,8 m ;
- En veillant à ne pas réduire la raideur du mur dans le sens porteur privilégié ;
- En tenant compte des capacités de la grue de levage sachant que le poids d'un MCII avec deux parois de 6 cm = 300 kg/m<sup>2</sup> et 325 kg/m<sup>2</sup> avec une paroi de 7 cm et une paroi de 6 cm.

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

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

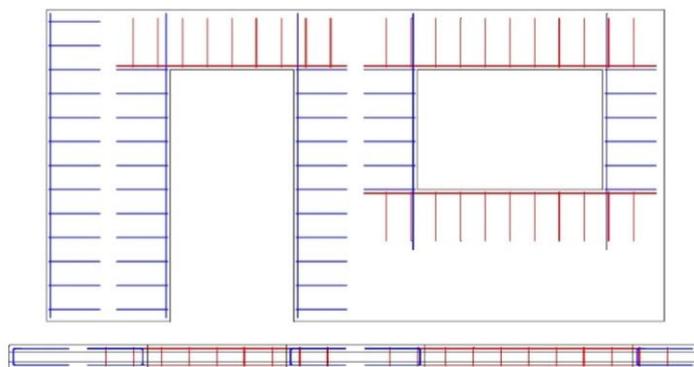
Pour une simplification des études la dimension du joint entre parois structurales est égale à la dimension du joint entre parois extérieures librement dilatables.

#### 2.5.1.7. Principes constructifs

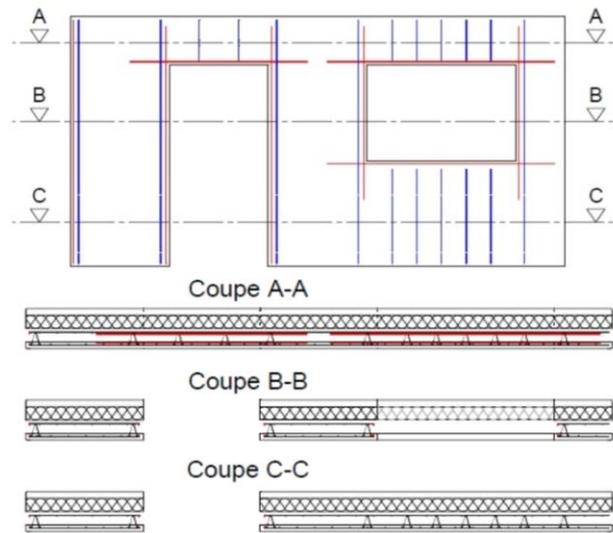
##### 2.5.1.7.1. Utilisation de raidisseurs en substitution des chaînages façonnés.

Les renforcements des bords libres verticaux usuellement prévus dans les voiles selon les dispositions du paragraphe 4.2.2.5 du DTU 23.1 pourront être réalisés dans les « Thermacoffrés®/Thermacoffrés® CPT » à l'aide des raidisseurs (Cf Figure 12).

Les barres de chaînages périphériques sont intégrées dans les parois des procédés « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT ». Les U de fermeture constructifs sont remplacés par des raidisseurs.



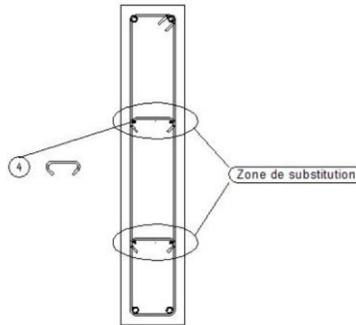
**Figure 11 - Solution traditionnelle**



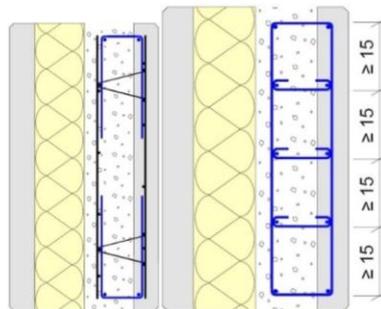
**Figure 12 – Solution « Thermacoffré®/ Thermacoffré® CPT »**

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

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

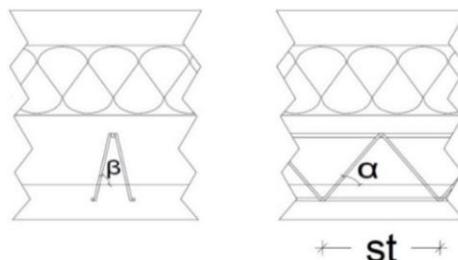


**Figure 13 - Armatures de poutre solution traditionnelle**



**Figure 14 - Armatures de poutre solution « Thermacoffré®/ Thermacoffré® CPT »**

Nota : La solution présentée à la Figure 14 (droite) n'est valable que pour une hauteur de poutre  $h \leq 1$  m. La section d'armature équivalente est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.



**Figure 15 - Géométrie du raidisseur**

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

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

$f_e$  : limite élastique des épingles

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

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

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

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

Épaisseur Ar* du MCII (cm)	Type de raidisseur	Section cm <sup>2</sup> /ml	Équivalent espacement armatures classiques en		
			Ø 6	Ø 8	Ø 10
13	KT 813 8-5-5	2.75	11	19	29
14	KT 815 8-5-5	2.74	11	19	29
	KTW 214	2.66	11	19	30
16	KT817 8-5-5	2.69	11	19	30
	KTW 217	2.66	11	19	30
18	KT819 8-5-5	2.65	11	19	30
	KTW 219	2.65	11	19	30
19	KT820 8-5-5	2.63	11	20	30
	KTW 220	2.64	11	20	30
24	KT825 8-5-5	3.68	8	14	22
	KTW 225	3.52	9	15	23
30	KT830 8-5-5	3.58	8	15	22
	KTW 230	3.44	9	15	23
34	KTW 236	3.36	9	15	24

**Tableau 4 - Tableau de correspondance entre coutures classiques et raidisseurs**

\*Ar = épaisseur de la paroi intérieure plus l'épaisseur du noyau (en cm)

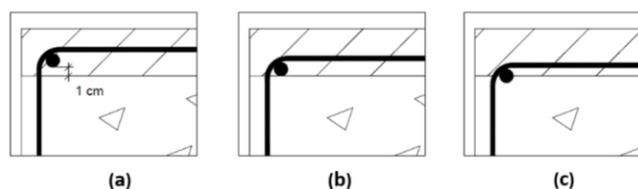
Nota : les types de raidisseurs en fonction des épaisseurs de murs sont donnés à titre indicatif. Ils sont sujets à variation en fonction des enrobages des armatures des procédés « Thermacofré® » et « Thermacofré® CPT ».

#### 2.5.1.7.2. Façonnage des armatures

##### Aciers Structuraux

L'ancrage des barres longitudinales doit être conforme à l'article 8.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale. Il y a lieu de tenir compte également de l'enrobage intérieur de l'armature dans le voile préfabriqué via l'introduction d'un coefficient  $\alpha_7$  égal à :

- 1 si l'enrobage minimal de l'armature de structures est supérieur à 10 mm par rapport à la surface de reprise ;
- 1,25 si l'armature est tangente à la surface de reprise ;
- 2 si l'armature est sécante à l'interface de reprise.
- La longueur d'ancrage de calcul de l'armature dans le voile préfabriqué vaut  $\alpha_7 \cdot l_{bd}$  avec la longueur d'ancrage  $l_{bd}$  définie à l'article 8.4.4 de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale.

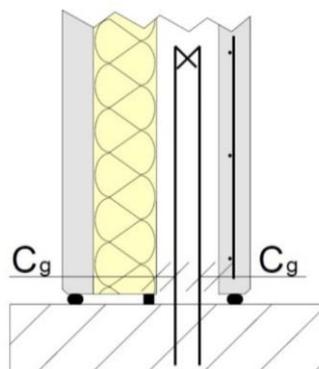


**Figure 16 - Enrobage des armatures de structure et périmètre utile**

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

Attentes verticales pour murs et poteaux.

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



**Figure 17 - Position des armatures en attente dans un Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT**

### 2.5.1.7.3. Recouvrement d'armatures

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

### 2.5.1.7.4. Eclissage des armatures

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

Ces armatures sont soit intégrées dans les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », soit mises en œuvre dans la partie coulée en place. Lorsqu'elles sont mises en œuvre dans la partie coulée en place, le nombre maximal de barres est de 2 par lit et le diamètre maximal  $\phi_{max}$  est donné par l'expression suivante :

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

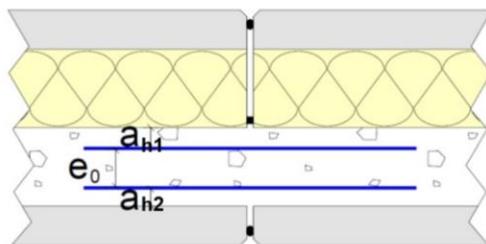
$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - a_{v1} - a_{v2}}{2} \quad \text{pour les armatures verticales (Figure 26)}$$

Avec :

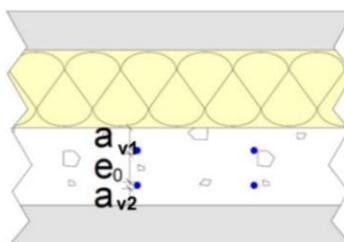
- $b_{n,min}$  l'épaisseur minimale du noyau, toutes tolérances épuisées.
- $e_0$  tel que  $e_0 = 0$  si les armatures sont accolées et  $e_0 = 1,7D_{max}$  elles sont espacées
- $a_{h1}, a_{h2}, a_{v1}, a_{v2}$  : valeurs conventionnelles de l'enrobage prenant en compte les variations dimensionnelles de l'armature et de son positionnement :
  - $a_{h1} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e1} - 15mm$
  - $a_{h2} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15mm$
  - $a_{v1} = \max(25mm; 1,4D_{max}) + a_{e1} - 15mm$
  - $a_{v2} = \max(25mm; 1,7D_{max}) + a_{e2} - 15mm$
- $a_{e1}$  l'enrobage minimal de l'armature de liaison côté paroi structurale et  $a_{e2}$  l'enrobage de l'armature de liaison côté isolant. Ces valeurs définies aux paragraphes 3.51 et 0 prenant les valeurs de 15 mm ou 30 mm selon la destination de l'ouvrage et les conditions d'utilisation (exposition des parois, traitement du joint...).

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

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



**Figure 18 - Exemple d'éclissage des armatures horizontales**



**Figure 19 - Exemple de l'éclissage des armatures verticales**

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

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

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

#### 2.5.1.8. Critère de bétonnage

##### 2.5.1.8.1. Hauteur de chute du béton.

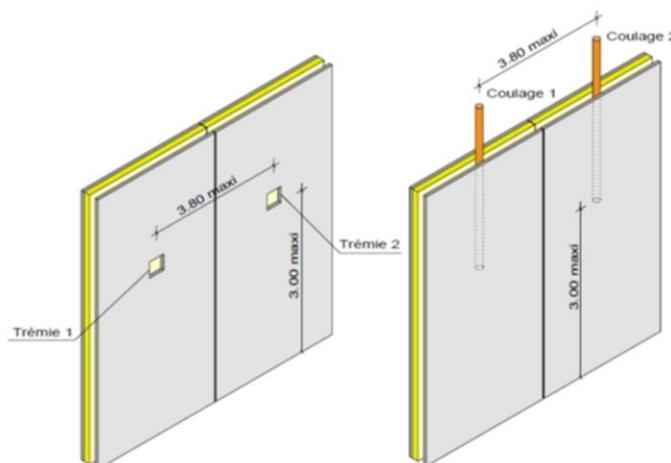
La hauteur maximale  $H_{max}$  de chute du béton de remplissage des murs « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » n'excèdera pas 3,00 m quel que soit l'épaisseur de béton coffré (en référence à l'art. 1.3 « Déversement par bennes » de la norme NF P 18-504 « Mise en œuvre des bétons de structure »).

Lorsque les hauteurs de panneaux sont supérieures à la hauteur maximale et ne permettent donc pas le bétonnage par trémie disposée en tête de panneau, 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 lumière pour trémie latérale respectant cette même hauteur limite (Figure 20). La distance entre deux trémies ou entre deux positionnements successifs de tubes souples ne doit pas excéder 3,80 m.

Dans ce cas on doit s'assurer du bon remplissage des murs à coffrage intégré par l'examen des joints verticaux entre panneaux, par le contrôle du volume du béton déversé ainsi que par une observation directe par les ouvertures éventuelles dans les panneaux.

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.



**Figure 20 - Hauteur de bétonnage équivalente (a) hauteur sous trémie et (b) hauteur sous tube souple**

##### 2.5.1.8.2. Vitesse de bétonnage :

La vitesse de bétonnage préconisée dans le cas d'une fixation des parois par les connecteurs TM est de 50 cm/heure dans les conditions prévues à l'annexe B informative de la norme NF EN 14992.

Cette vitesse peut être augmentée à :

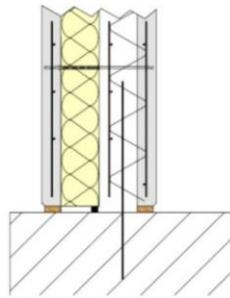
- 70 cm/h pour des températures  $\geq$  à 15°C ;
- 60 cm/h pour des températures  $\geq$  à 10°C.

Pour les températures inférieures à 15°C la vitesse de bétonnage peut être maintenue conformément aux valeurs ( $T = 15^\circ\text{C}$ ) 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 permettra de définir des vitesses de bétonnage plus élevée, en prenant comme référence l'annexe B informative de la norme NF EN 14992 et en considérant une résistance des connecteurs ancrés dans du béton à jeune âge de 4,0 kN.

## 2.5.1.9. Principe de conception des liaisons

### 2.5.1.9.1. Liaison articulée en pied du MCII

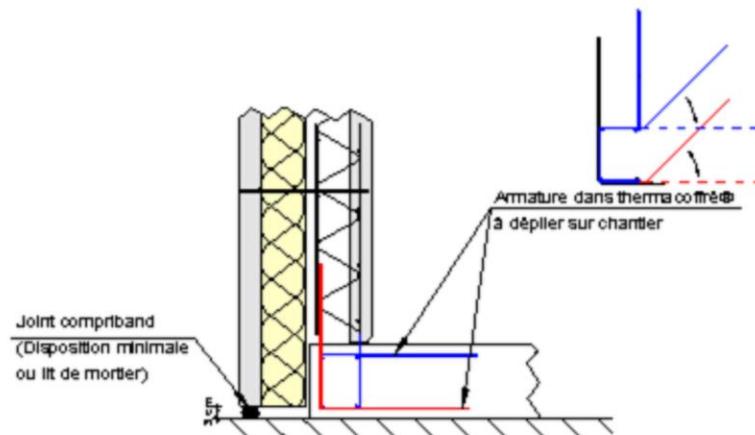


**Figure 21 - Liaison articulée**

### 2.5.1.9.2. Encastrement en pied des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

#### 2.5.1.9.2.1. Encastrement avec continuité de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type A), (Annexe 2.23.7.2)

Le principe constructif de ces liaisons consiste à intégrer les armatures d'encastrement aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT ou avant la pose du MCII de façon à 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.



**Figure 22 - Encastrement MCII/radier A1**

#### Liaison A1

Les armatures en attentes intégrées aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT assurent la continuité de l'encastrement avec le radier ou la fondation.

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 égal.

La paroi extérieure assure le coffrage du radier ou de la fondation.

#### Liaison A2

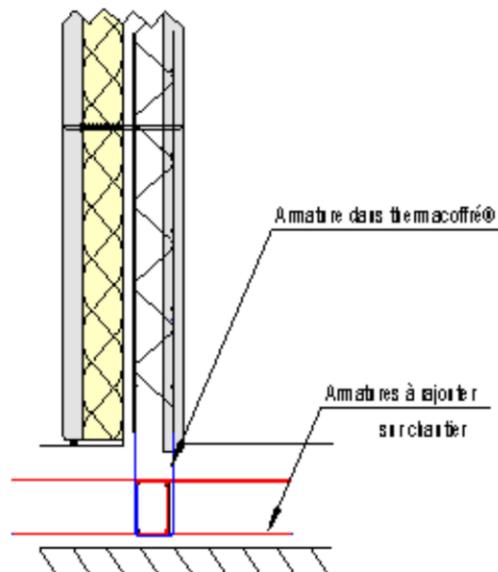
Elle se différencie de la précédente par la nature des efforts à reprendre et par conséquent par le diamètre des armatures d'encastrement supérieur à 12 mm.

Les armatures qui assurent l'encastrement avec le radier et la fondation sont vissées dans les coupleurs intégrés aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT »

Les coupleurs utilisés sont du type HBS de la société HALFEN ou équivalent, bénéficiant d'un certificat délivré par l'AFCAB

Le moment résistant au droit de l'encastrement est identique au moment d'un mur coulé en place d'épaisseur égal.

#### Liaison A3



**Figure 23 - Encastrement MCII/radier A3**

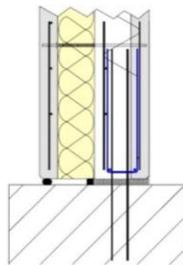
#### Liaison A4

Elle se différencie des solutions précédentes par l'intégration partielle des armatures d'encastrement dans les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ».

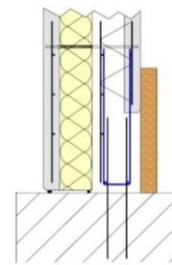
#### 2.5.1.9.2.2. Encastrement avec reprise de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type B1), (Annexe 0)

Les liaisons de type B se différencient des précédentes par la présence d'une reprise de bétonnage en pied des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ». La présence d'un radier ou d'une fondation facilite la pose et la stabilisation provisoire des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ». L'inconvénient de cette liaison est la réduction de la hauteur utile d'encastrement due à l'épaisseur de la paroi. À épaisseur égale, cette solution ne permet pas de mobiliser le même moment résistant que les liaisons de type A1 ou A4. Il convient de tenir compte de cette particularité lorsqu'un mur coulé en place est remplacé par un « Thermacoffré® » ou « Thermacoffré® CPT ».

En coffrant le pied de la paroi intérieure du MCII on rétablira une hauteur utile équivalente aux solutions A1 à A4 ou coulé en place (Figure 25).



**Figure 24 - Encastrement MCII/radier B1**



**Figure 25 - Encastrement MCII/radier B3**

La continuité de l'encastrement entre les « Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT » 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 des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ».

Dans le cas où l'encastrement est réalisé par les armatures en attente disposées entre les 2 parois coffrantes (cas des liaisons de types B1), on limitera la densité et les diamètres des armatures en attente dans la fondation aux valeurs du tableau ci-dessous :

Épaisseur du noyau coulé sur chantier	Armature en attentes
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 B, le transfert des efforts d'encastrement du MCII à la fondation nécessite un bon remplissage du joint de calage en pied et MCII est posé sur un lit de mortier. Le cas échéant on prévoira un joint  $>$  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 B nécessitent un traitement spécifique de la reprise de bétonnage.

#### *Liaison B1*

L'encastrement du MCII 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 du MCII réduite de 7 à 8 cm en fonction des diamètres.

#### *Liaison B2*

Cette liaison se distingue de la liaison B1 par le chanfrein du pied de la paroi du MCII de façon à réduire la hauteur de calage (1 à 2 cm) et ainsi éviter le coffrage du joint.

#### *Liaison B3*

La liaison B3 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.

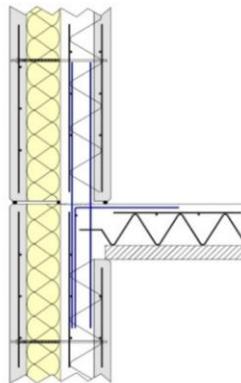
#### *Liaison B4*

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

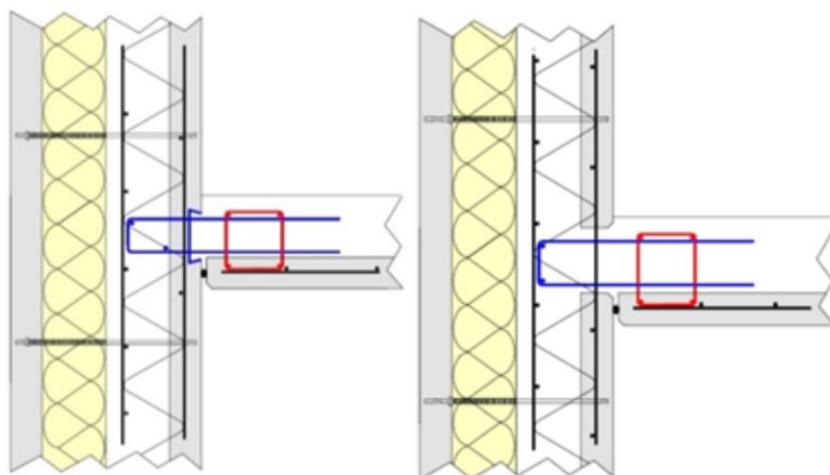
Le gousset est coffré après la pose du MCII.

### **2.5.1.9.3. Liaisons « Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT » avec dalle (Annexe 2.23.8)**

#### *2.5.1.9.3.1. Liaisons courantes rotulées*



**Figure 26 - Liaison « Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT » avec dalle**



**Figure 27 - Liaison Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT avec dalle suspendue (hors exigence sismique)**

La liaison avec dalle (Figure 26) est une disposition courante où l'armature haute de la dalle équilibre un moment correspondant à  $0,15 M_0$  ( $M_0$  moment isostatique en travée de la dalle) c'est le cas des planchers en prédalles B.A ou B.P, dalles alvéolées et dalles coulé en place.

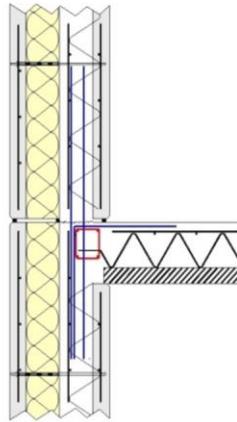
Liaison (Figure 27) : La dalle coulée en place ou avec prédalle est suspendue à l'aide d'armatures en attente dans la paroi intérieure.

La mise en œuvre des prédalles est réalisée conformément aux prescriptions du NF DTU 23.4.

### 2.5.1.9.3.2. Liaisons encastrées

Les armatures intégrées en tête des panneaux « Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT » permettent de mobiliser un moment d'encastrement.

Pour les appuis de rive, lorsque des liaisons efficaces (Figure 28) 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 0,5 Mo. (C'est le cas des planchers en prédalles B.A ou B.P et ou les dalles coulées en place).

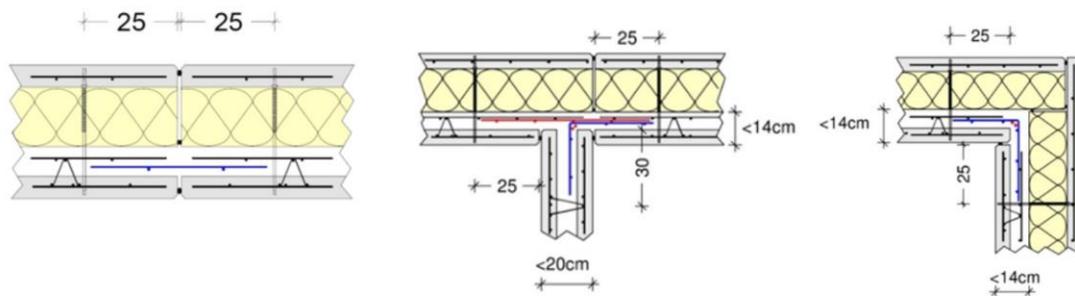


**Figure 28 - Liaison dalle/MCII encastrée**

### 2.5.1.9.4. Liaisons articulées entre MCII

#### 2.5.1.9.4.1. Joint vertical droit, d'angle droit et en T (Annexe 2.23.9.1 à 0)

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 murs « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT ».



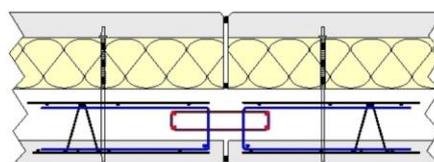
**Figure 29 - Liaisons verticales articulées**

#### 2.5.1.9.4.2. Joint horizontal droit (Annexe 2.23.10.1)

Les armatures de liaison sont disposées dans le voile 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 « Thermacoffrés® » et « Thermacoffré® CPT ».

### 2.5.1.9.5. Liaisons articulées couturées entre MCII (Annexe 23)

#### 2.5.1.9.5.1. Joint vertical droit (C1)



**Figure 30 - Liaison verticale couturée droite C1**

Ce type de liaison est particulièrement adapté aux liaisons des « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT » 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 B.

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 MCII à l'autre.

Les armatures de coutures sont posées de préférence avant la pose du MCII suivant. Le déplacement horizontal de la cage d'armature est facilité par la présence d'une fenêtre de tirage disposée à 60 cm du pied du MCII.

#### 2.5.1.9.5.2. Joint d'angle droit vertical (C2)

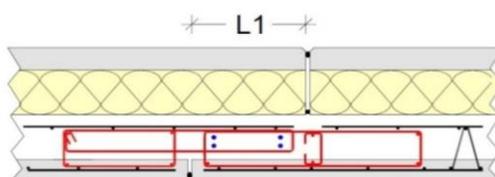
La solution C2 est basée sur le même principe que la solution C1. On peut utiliser l'armature de couture pour réaliser un poteau ou un chaînage sismique. Le chaînage sismique sera situé à l'intersection des axes ou dans l'un des MCII qui forme l'intersection. Dans ce cas on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 2.

#### 2.5.1.9.5.3. Joint d'angle vertical en T (C3)

La solution C3 est basée sur le même principe que la solution 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 MCII qui forme l'intersection. Dans ce cas on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 2.

### 2.5.1.9.6. Liaisons encastrées entre MCII

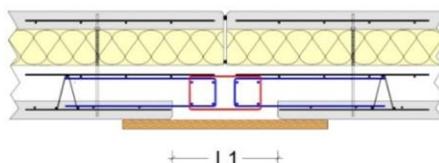
#### 2.5.1.9.6.1. Joint vertical droit. (Cf. Annexe 23.96)



**Figure 31 - Joint vertical encastré E1**

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. La liaison E1 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 A (Annexe 2.23.7.2)

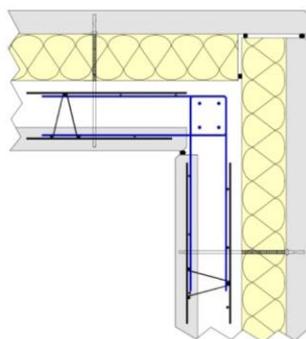
La liaison E2 est une variante de la liaison E1, elle est réservée aux sollicitations importantes ou lorsque la liaison en pied avec attente ne permet pas un déplacement latéral du MCII concomitant au déplacement vertical de la pose.



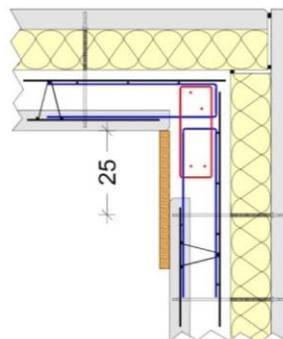
**Figure 32 - Joint vertical encastré E2**

#### 2.5.1.9.6.2. Joint d'angle droit vertical (Cf. Annexe 2.23.9.6)

Le principe constructif est le même que pour les joints verticaux droits. La solution E3 permet de mobiliser un bras de levier optimal.



**Figure 33 - Liaison verticale d'angle encastrée E3**

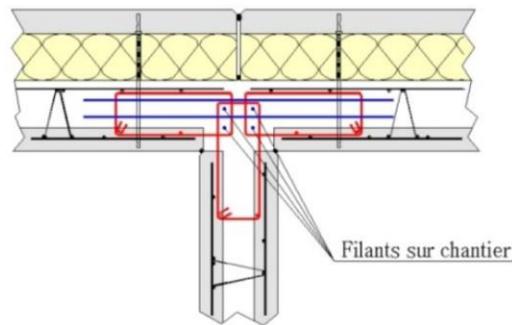


**Figure 34 - Liaison verticale d'angle encastrée E4**

La liaison E4 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

### 2.5.1.9.6.3. Joint d'angle vertical en T (Cf. Annexe 2.23.9.6)

Les liaisons de type E5, E6 permettent de reprendre un moment de flexion. La mise en œuvre de l'une des 3 liaisons dépendra des sollicitations et des contraintes de chantier. Ces liaisons ne sont possibles qu'associées avec une liaison en pieds de type A



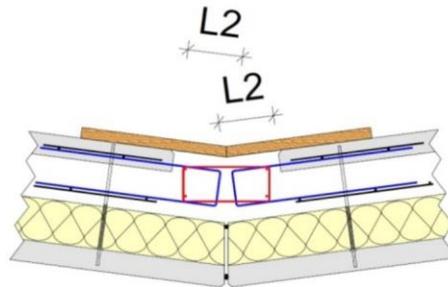
**Figure 35 - Liaison verticale en T encastrée E5**

### 2.5.1.9.6.4. Joint vertical biais (Cf. Annexe 2.23.9.6)

Le principe constructif de la solution est fonction de l'angle entre les deux MCII :

- Pour un angle supérieur à  $135^\circ$  le ferrailage de l'angle peut être intégré dans le MCII selon la même méthode que la solution pour le joint droit
- Pour les angles inférieurs à  $135^\circ$  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 36 - Liaison verticale d'angle encastrée**

### 2.5.1.9.6.5. Joint horizontal droit (Cf. Annexe 2.23.10.2)

Trois systèmes constructifs permettent de réaliser un encastrement horizontal entre deux MCII

- La liaison E8 : La continuité est assurée par les armatures en attente posées lors du bétonnage du MCII inférieur. La réduction de la hauteur utile d'encastrement due à l'épaisseur de la paroi engendre une réduction du moment résistant ;
- La liaison E9 : La transmission du moment de flexion et du cisaillement d'un MCII à l'autre est assurée par le croisement et le clavetage des cages d'armatures intégrées aux MCII.

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 figure compte tenu de la difficulté à mettre les armatures filantes en œuvre.

- La liaison E10 : 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.

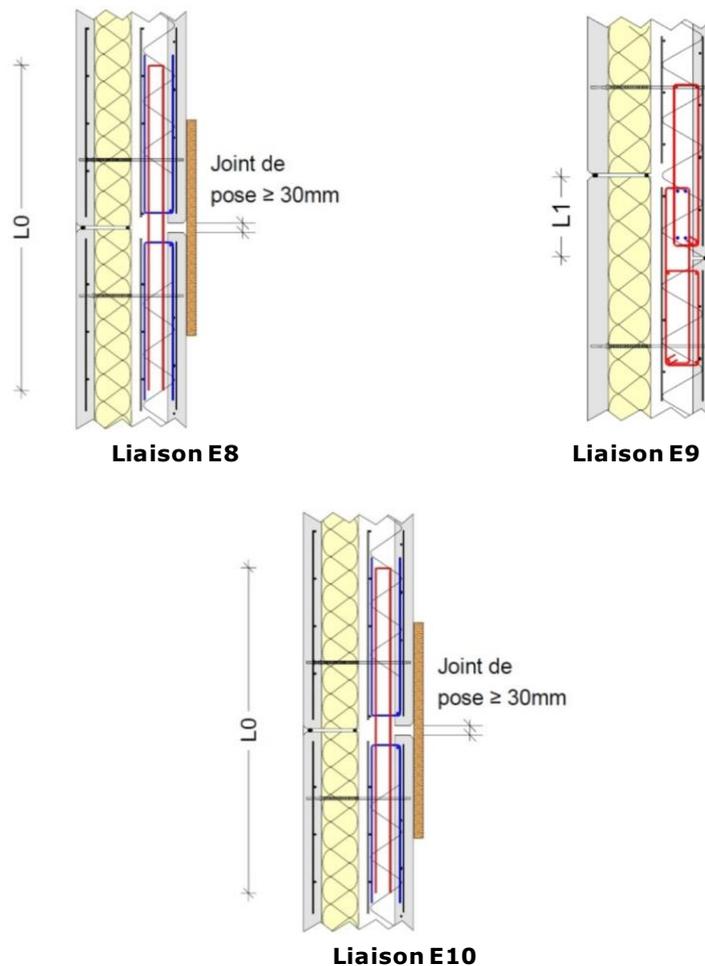


Figure 37 - Liaisons horizontales encastrées

#### 2.5.1.10. Dispositions parasismiques

##### 2.5.1.10.1. Principe général

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

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

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

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

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

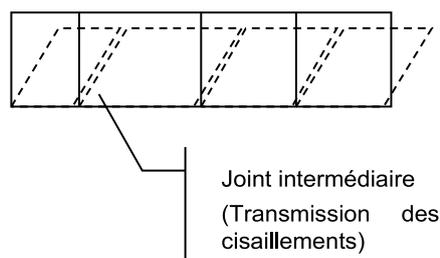


Figure 38 - Schéma d'un comportement monolithique des panneaux

Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans le mur à coffrage intégré ou mis en œuvre par le biais des armatures de coutures. Le choix entre ces deux solutions sera fonction de la section du tirant, de l'épaisseur du mur à coffrage intégré et des contraintes de mise en œuvre.

Les efforts engendrés par une situation sismique pondérant la masse de la peau de parement sont repris par les connecteurs. Si nécessaire le maillage est complété par des connecteurs supplémentaires implantés à 45° de façon à être sollicités en traction.

Les largeurs de joint sont prévues selon les dispositions du paragraphe 2.3.4.

Les largeurs des joints entre panneaux sont déterminées par le titulaire en fonction de l'accélération sismique et du nombre de connecteurs. Ces largeurs, indiquées sur les plans, doivent être respectées.

Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » de la réduction de section de béton au droit de ces joints.

#### 2.5.1.10.2. Stabilité d'ensemble

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un voile réalisé en « Thermacoffrés® » ou « Thermacoffré® CPT » peut se baser sur la section homogène équivalente au voile banché substitué.

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

A défaut de justifications par le calcul, les « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés CPT » 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.

#### 2.5.1.10.3. Dispositions dans les joints horizontaux

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

Dans le cas de justifications par le calcul, l'effort tranchant sollicitant doit être comparé aux efforts tranchants résistants mobilisables en fonction du type de liaison (horizontale ou verticale) et du cas de charge étudié (voir méthode de calcul proposée à l'annexe 1). Cette vérification permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié.

#### 2.5.1.10.4. Liaisons entre MCII au droit d'une dalle

Afin de s'assurer du non-glissement du voile par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, le joint doit être vérifié au cisaillement conformément à l'art 5.4.3.5.2 (4) de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe Nationale sur la base du noyau du « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés CPT ».

#### 2.5.1.10.5. Dispositions dans les joints verticaux droits

Les liaisons verticales entre deux panneaux successifs sont justifiées d'après la méthode de l'Annexe 2.

A défaut de justifications par le calcul, les liaisons verticales doivent répondre aux dispositions suivantes : réalisation de poteaux au droit des joints (Figure 39) dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des raidisseurs de rives. La section des armatures de liaison est celle déterminée pour le mur banché substitué, majorée du rapport

épaisseur structurelle / épaisseur du noyau coulé en place, soit  $\left(\frac{b_1 + b_n}{b_n}\right)$ .

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

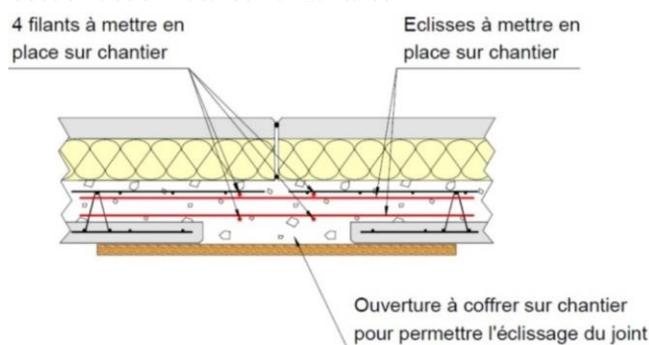


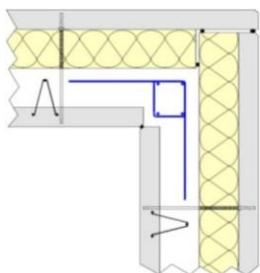
Figure 39 - Liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

#### 2.5.1.10.6. Liaison entre MCII au droit d'une dalle

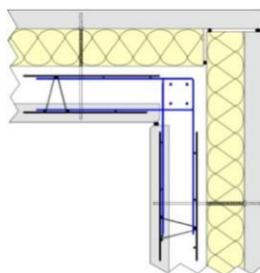
Afin de s'assurer du non-glissement du mur par rapport à la dalle sous les sollicitations dynamiques, le joint doit être vérifié au cisaillement conformément à l'article 5.4.3.5.2(4) de la norme NF EN 1998-1 et son Annexe nationale sur la base du noyau du MCII.

#### 2.5.1.10.7. Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs MCII.

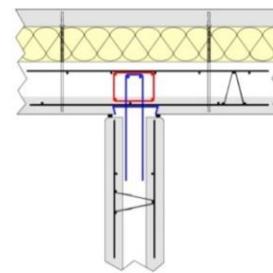
Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » ou mis en œuvre par le biais des armatures de coutures. Le choix entre ces deux solutions sera fonction de la section du tirant, de l'épaisseur des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » et des contraintes de mise en œuvre.



**Figure 40 - Liaison d'angle avec chaînage sismique**



**Figure 41 - Liaison d'angle sismique couturée**



**Figure 42 - Liaison en T avec chaînage sismique**

### 2.5.1.10.8. Les chaînages

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

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

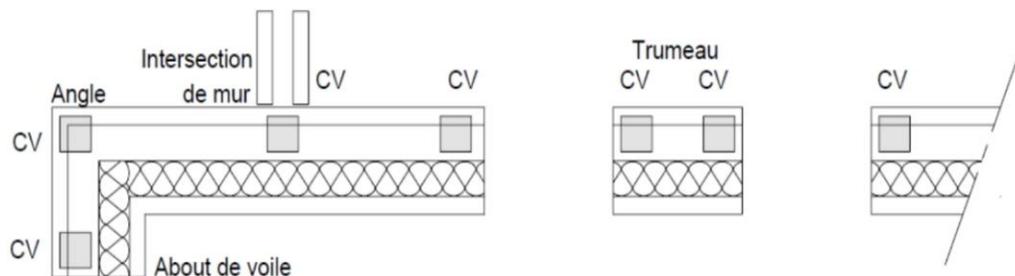
- Tous les chaînages verticaux sont continus sur toute la hauteur de l'étage, de plancher à plancher et se recouvrent d'étage à étage avec acier de couture au droit des recouvrements ;
- Les chaînages horizontaux (CH) des planchers sont continus ;
- Les chaînages des linteaux (CL) sont constitués en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

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

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

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

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



**Figure 43 - Implantation des chaînages verticaux**

### 2.5.1.10.9. Exigences relatives au façonnage des armatures

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

### 2.5.1.11. Stabilité au feu

#### 2.5.1.11.1. Généralité

La justification au feu des murs « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » fait l'objet de l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3), 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 des connecteurs Thermomass pour suspendre la peau extérieure à la paroi structurale.

En cas d'exigence de stabilité au feu, l'épaisseur minimale de la paroi structurale est de 16 cm.

#### 2.5.1.11.2. Murs coupe-feu

Suivant l'appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3, dans la limite d'une durée de tenue de feu de 2H, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurale des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », 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

Les coefficients réducteurs du béton et de l'acier du voile intérieur sont calculés en utilisant les tableaux de températures donnés en Annexe VIII (pour une durée d'exposition au feu allant jusqu'à 2 heures).

#### 2.5.1.11.3. Justification de la tenue de la peau extérieure

La tenue du voile librement dilatable en situation d'incendie fait également l'objet de l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-1988V3 afin de s'assurer connecteurs de la tenue des connecteurs Thermomass en situation d'incendie sous l'effet concomitant de l'action du feu et du vent 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 indiquée au § 3.251.

#### 2.5.1.11.4. Disposition constructive particulières

En partie courante, les isolants sont protégés par l'épaisseur de béton du voile intérieur. La peau extérieure bénéficie conventionnellement du classement de réaction au feu M0.

Conformément à l'Appréciation de laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3 en périphérie des réservations la protection de l'isolant (lorsqu'il n'est pas M0) est assurée par la mise en place de matériaux M0.

Cette protection pourra par exemple être assurée soit par une bande de laine de roche de densité 100 à 150 kg/m<sup>3</sup>. L'épaisseur de cette protection est de 5 cm au minimum lorsqu'elle est protégée par une bavette métallique et 10 cm dans le cas contraire. 10 cm. On peut se dispenser de cette disposition pour les bâtiments ne comportant qu'un rez-de-chaussée.

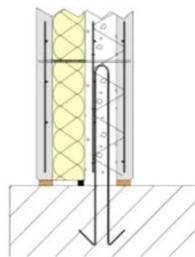
La validation de ces dispositions pour l'ensemble du domaine d'emploi revendiqué (y compris les bâtiments d'habitation classés de la 3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> famille et les Immeubles de Moyenne Hauteur IMH – bâtiment à usage d'habitation dont le plancher bas du logement le plus haut est situé à plus de 28 m sans être considéré immeuble de grande hauteur –) a fait l'objet d'une appréciation de laboratoire n° 024731 délivrée par le CERIB.

### 2.5.2. Prescriptions particulières aux « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT » essentiellement sollicités dans leur plan.

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.

#### 2.5.2.1. Prescriptions particulières aux « Thermacoffrés » et « Thermacoffrés® CPT » courants

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



**Figure 44 - Liaison en pied des murs courants**

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (Cahier du CSTB 3690 V2) § 1.1.2.1.

#### 2.5.2.2. Prescriptions particulières aux poteaux

##### 2.5.2.2.1. Définition

La distinction entre « mur » et « poteau » se fera selon l'article 5.3.1 (7) de la norme NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale:

- Est considéré comme « poteau » tout 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, conformément au paragraphe 5.23.

##### 2.5.2.2.2. Type de ferrailage en fonction du type de sollicitations

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  $\lambda$  vérifie l'expression suivante (article 5.8.3 de la norme NF EN 1992-1-1 et son annexe nationale) :

$$\lambda < \lambda_{lim} = \frac{20ABC}{\sqrt{n}}$$

Avec :

- $\lambda$  l'élançement du poteau défini comme le rapport de la longueur efficace du poteau sur le rayon de giration de la section droite ;
- $\lambda_{lim}$  la valeur limite de l'élançement ;
- 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'élançement du poteau est supérieur à l'élançement 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.

### Sollicitation en compression centrée

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

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

Avec :

- $N_{Rd}$  l'effort normal résistant de calcul du poteau ;
- $A_c$  la section résistante du poteau calculée en considérant l'épaisseur totale 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 ;
- $\sigma_s$  la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égal à  $f_{yk}/\gamma_s$  si  $\varepsilon_{c2} > f_{yk}/E_s$  ou à  $E_s \cdot \varepsilon_{c2}$  sinon ( $f_{yk}$  est la limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé,  $\varepsilon_{c2}$  la déformation relative limite du béton sous compression centrée et  $E_s$  la valeur de calcul du module d'élasticité de l'acier de béton armé).

### Poteaux résistants par le béton seul

L'effort normal  $N_{Ed}$  limite agissant à l'ELU en tête de poteau est alors limité à :

$$N_{Rd} = \frac{A_c \cdot \alpha_{cc} \cdot f_{ck,eq}}{\gamma_c}$$

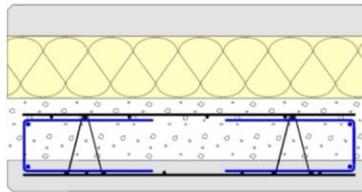
Avec :

- $N_{Rd}$  l'effort normal résistant de calcul du poteau ;
- $f_{ck,eq}$  la résistance caractéristique équivalente à la compression du béton pour l'épaisseur totale du mur (partie structurelle) telle que définie à l'article §5.12 ;
- $A_c$  la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :
  - Le joint présente une épaisseur minimale de 3 cm, ou
  - 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  $f_{ck,n}$ .

- $\gamma_c$  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.
- $\alpha_{cc}$  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.

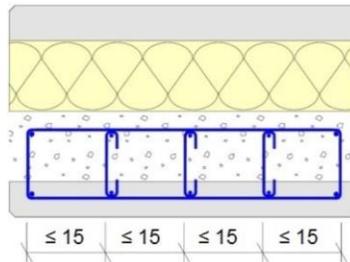
Le ferrailage est réalisé de la même manière que pour un mur à coffrage intégré classique : aciers horizontaux, verticaux et treillis raidisseurs. Les abouts des « Thermacoffrés® » et « Thermacoffre CPT » à coffrage intégré seront systématiquement fermés par des U.



**Figure 45 - Section de poteau résistant par le béton seul**

### Poteaux nécessitant des armatures structurales

Les poteaux n'entrant pas dans les limites ci-dessus pourront être réalisés en « Thermacoffré® » et « Thermacoffré CPT » mais les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme sur la Figure 46 : il convient que chaque barre longitudinale soit maintenue par des armatures transversales. Il convient également de ne pas disposer de barre non tenue à plus 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 46 - Section de poteau fortement chargé**

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

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

Avec :

- $A_s$  la section d'armatures ;
- $A_c$  la section résistante du poteau calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels
- $\sigma_s$  la valeur de contrainte de calcul dans les aciers égale à  $f_{y,d}$ .

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies au paragraphe §2.5.1.7.4.

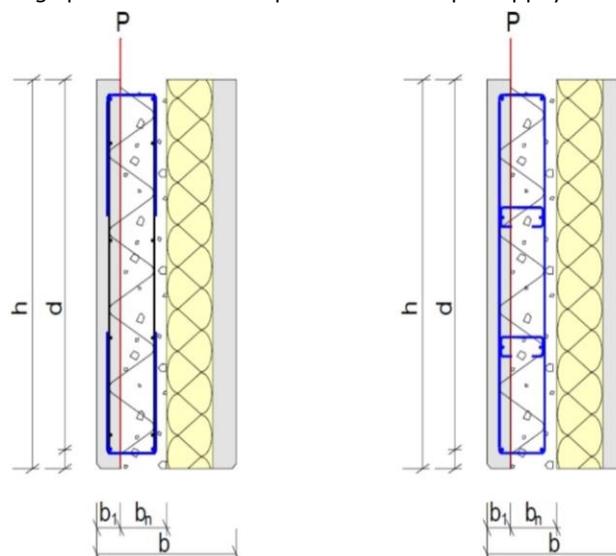
### 2.5.2.3. Prescriptions particulières aux poutres

La section de béton prise en compte dans le calcul est l'épaisseur totale de la poutre.

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

Il convient de vérifier

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



**Figure 47 - Plan de cisaillement dans la section d'une poutre**

### Intégrité de la section

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

La relation suivante devra ainsi être vérifiée :

$$\tau_{Ed} \leq \tau_{U\lim}$$

Le calcul de l'effort tranchant traversant le plan de reprise se fait suivant les dispositions de l'art 2.6.5 de l'Eurocode 2 soit : Effort traversant le plan de cisaillement P1 (en kN/ml) :

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

Avec :

$V_{Ed}$  = effort tranchant maximal à l'ELU en kN

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$  en cm<sup>2</sup>

$z = 0,9 \times d$  en m

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

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

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

*Nota : L'expression de F ci-dessus est valable en partie courante. Le coefficient 0,6 sur la hauteur de la poutre permet d'évaluer la hauteur sur laquelle s'applique le cisaillement d'interface.*

La liaison par le béton seul est systématiquement renforcée par les raidisseurs traversant le plan de reprise. Par conséquent, suivant l'article 6.2.5 de l'EN 1992-1-1, la valeur limite de la contrainte de cisaillement  $\tau_{U\lim}$  est telle que :

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

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

Avec :

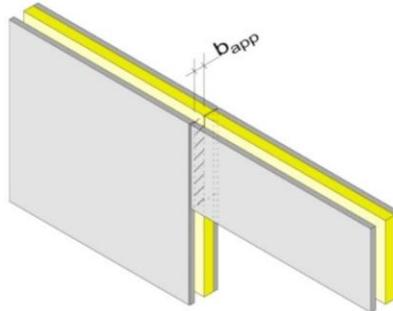
- $f_{cd}$  : valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage ( $\alpha_{cc} \times \frac{f_{c,n}}{\gamma_c}$ )
- $f_{ctd}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage ( $\alpha_{ct} \times \frac{f_{t,n}}{\gamma_c}$ )
- $f_t = \min\left(\frac{f_{y\Box}}{\gamma_s}; \frac{F_W}{(A_{Di} \times \gamma_s)}\right)$
- $f_{y\Box}$  : limite caractéristique d'élasticité des aciers
- $F_W$  : résistance des soudures
- $A_{Di}$  : section d'une diagonale du raidisseur treillis
- $v = 0,6 \left(1 - \frac{f_{c,n}}{250}\right)$ 
  - $c$  tel que :
    - Cas des charges à caractère principalement statiques :  $c = 0,18$
    - Cas des charges dynamiques ou de fatigue :  $c = 0,09$
  - $\mu = 0,6$
- $\alpha$  et  $\alpha'$  : inclinaisons des diagonales des raidisseurs dans le plan longitudinal.
- $\rho_\alpha$  et  $\rho_{\alpha'}$  : pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle  $\alpha$  ou  $\alpha'$ , calculés comme présenté à Annexe 3 : Exemple de calcul de  $\rho_\alpha$ , page 58
- $c$  et  $\mu$  dépendent de la rugosité de la surface de reprise. Leur valeur a été déterminée en considérant une surface de reprise de type « lisse », c'est-à-dire suivant la définition de l'EN 1992-1-1 § 6.2.5, une surface réalisée à l'aide de coffrages glissants ou surface extrudée ou surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration. Le plan de reprise peut être renforcé en resserrant les raidisseurs ou en disposant des raidisseurs de renforts pour augmenter la valeur de  $\rho$  (cf. Annexe 4 : Exemple de calcul de  $\tau_{U\lim}$ ).
- Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que  $\tau_{Rd} > 0,35 \cdot f_{ck,eq}^{0,5} / \gamma_c$ , alors il est nécessaire de disposer des armatures transversales d'effort tranchant.

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

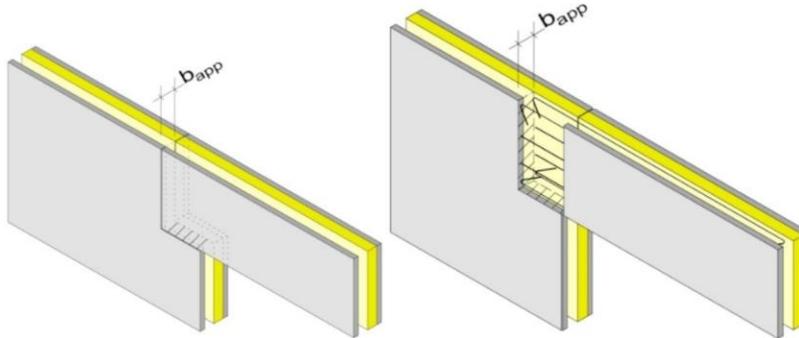
- Cas 1 :  $b_{app} = b_n$  correspond à l'épaisseur du noyau du Thermacoffré®/ Thermacoffré® CPT (Figure 48)
- Cas 2 :  $b_{app} = b_n + b_1 - ch_1$  correspond à l'épaisseur structurelle totale réduite d'une épaisseur de peau  $u$  et d'une largeur de chanfrein éventuel (Figure 49)

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

- $b$  épaisseur totale du Thermacoffré®/Thermacoffré® CPT
- $b_n$  épaisseur du noyau coulé en place
- $b_1$  épaisseur de la paroi coffrante structurale
- $ch_1$  largeur des chanfreins de la première peau coffrante



**Figure 48 - Appui de poutre - cas 1**



**Figure 49 - Appui de poutre - cas 2**

Contraintes sur appui :

- Vérification de la contrainte de cisaillement du béton sur appui avec :

$$\tau_u = V_{u,red} / b_0 \cdot d$$

- Vérification de la contrainte de compression dans la bielle d'about avec :

$$\frac{2 \times V_u}{b_0 \times a} \leq 0,8 \times \frac{f_{c,eq28}}{\gamma_b}$$

Avec :

- $V_{u,red}$  effort tranchant réduit à l'ELU
- $V_u$  effort tranchant à l'ELU
- $d$  hauteur utile de la poutre
- $a$  longueur d'appui de la bielle
- $b_0$  largeur de l'âme

Ancrage :

Les règles d'ancrage d'armatures sur appuis sont celles de la NF EN 1992-1-1 et son Annexe Nationale (§9.2.1.4 et 9.2.1.5).

#### **Vérification de la torsion**

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

- Soit l'épaisseur du noyau ( $b_n$ ) dans le cas d'un joint du type cas 1 ci-dessus ;

- Soit l'épaisseur structurelle ( $b_1 + b_n$ ) dans le cas d'un joint du type cas 2 ci-dessus.

2.5.2.4. Prescriptions particulières aux poutres voiles.

#### 2.5.2.4.1. Généralités

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (cahier du CSTB 3690\_V2) § 1.1.2.4.

#### 2.5.2.4.2. Vérification de la Stabilité d'ensemble

Le dimensionnement suit les prescriptions du CPT MCI (Cahier du CSTB 3690\_V2) § 1.1.2.4.

#### 2.5.2.4.3. Vérification au droit des joints des « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT »

La vérification des joints consiste à s'assurer de la capacité à transmettre les efforts tranchants le long de la poutre-voile vers les appuis.

On doit vérifier que :  $V_{Edi} \leq V_{Rdi}$

Avec :

- $V_{Edi}$ , l'effort tranchant sollicitant maximal le long de la poutre-voile à l'ELU ;
- $V_{Rdi}$ , l'effort tranchant résistant au droit du joint déterminé conformément à l'annexe 1.

Le choix du type de joint entre murs formant la poutre-voile sera fonction de la capacité résistante  $V_{Rdi}$  à atteindre. A défaut de justifications de la résistance de la liaison, chaque MCII doit correspondre à une travée de poutre-voile.

2.5.2.5. Prescriptions particulières aux acrotères (Annexe 9)

#### 2.5.2.5.1. Généralités

Lorsqu'un bâtiment réalisé avec les procédés « Thermacoffré® » ou « Thermacoffré® CPT » 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.

#### 2.5.2.5.2. Acrotères bas

2.5.2.5.2.1. Cas des acrotères  $h < 40$  cm :

Les acrotères bas inférieurs à 40 cm peuvent être réalisés par prolongement de la paroi extérieure seule du dernier étage. L'acrotère n'est pas isolé. L'isolation sur dalle terrasse vient en butée contre l'acrotère. Une costière métallique posée sur chantier assure le support et la désolidarisation du relevé d'étanchéité.

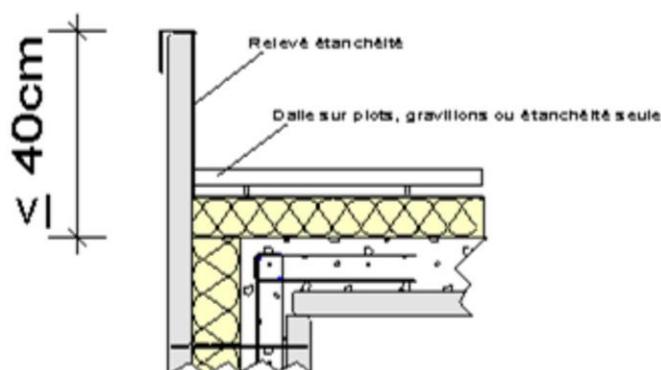


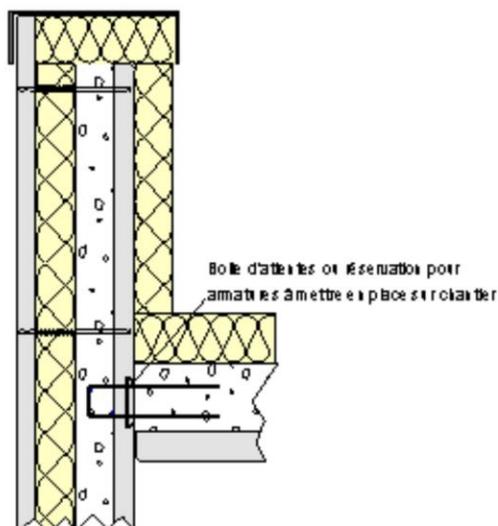
Figure 50 - Acrotère bas de hauteur inférieure à 40 cm

2.5.2.5.2.2. Cas des acrotères  $> 40$  cm

Les acrotères bas supérieurs à 40 cm sont réalisés par prolongement :

- De la paroi extérieure du MCII et du noyau qui est coffré sur chantier ;
- De la totalité du MCII La liaison avec la dalle est obtenue avec des planches d'attente ou des armatures rapportées dans une réservation prévu dans la paroi intérieure du MCII.

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

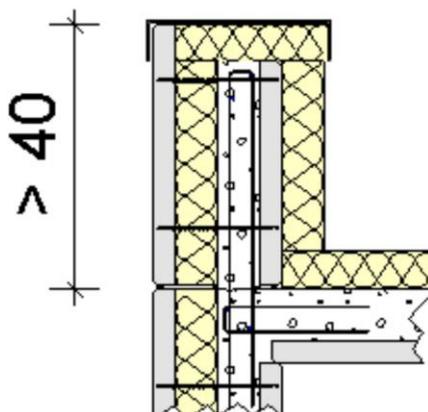


**Figure 51 - Acrotère bas de hauteur >40 cm avec dalle suspendue**

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.

### 2.5.2.5.3. Acrotère Haut au sens du DTU 20.12

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT du dernier niveau (Figure 51) ou constitué d'un élément complémentaire rapporté au-dessus de la dalle terrasse (Figure 52).



**Figure 52 - Acrotère haut constitué d'un « Thermacoffré® » ou d'un « Thermacoffré® CPT » rapporté**

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

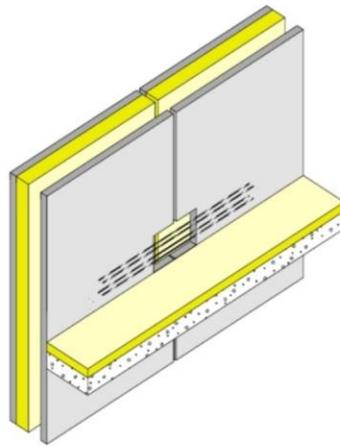
Lorsque la paroi « intérieure » n'est pas isolée ou que l'acrotère est posé sur un rupteur de pont thermique l'acrotère est constitué :

- D'une partie basse ferrillée 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 planche de polystyrène traversant toute l'épaisseur du mur et disposée sur la hauteur du fractionnement.

Les joints de fractionnement seront espacés d'au plus 8 mètres dans les régions sèches ou à forte opposition de température, 12 mètres dans les régions humides ou tempérées (par référence au DTU 20.12). Ils pourront être confondus avec les joints des procédés « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT » et auront une largeur 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 procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont équipés au droit des joints d'une réservation disposée côté toiture, permettant le bon éclissage des armatures de la partie continue de l'acrotère.



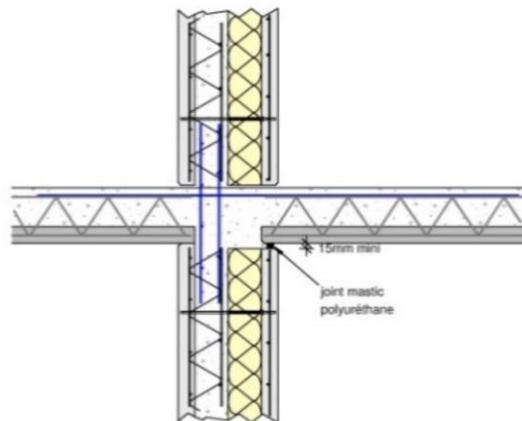
**Figure 53 - Acrotère haut réalisé par prolongement du MCI dont la paroi « intérieure » n'est pas isolée**

#### 2.5.2.6. Prescriptions particulières aux éléments inclinés

Les procédés « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés® CPT » peuvent être mis en œuvre dans un ouvrage avec une inclinaison minimale de 75° par rapport à l'horizontale.

#### 2.5.2.7. Prescriptions particulières aux consoles 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)



**Figure 54 - Liaison MCI/balcon**

### 2.5.3. Prescriptions particulières aux « Thermacoffrés® » et « Thermacoffrés CPT » essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan

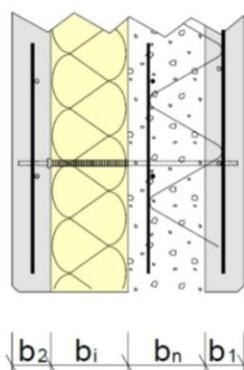
#### 2.5.3.1. Prescriptions communes concernant le monolithisme – vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface paroi intérieure/béton coulé en place.

La présence d'un plan de reprise de bétonnage nécessite de vérifier le monolithisme de la section.

La contrainte tangente à l'interface peau/noyau est prise conventionnellement égale à :  $\tau_{ED} = 1,1 \frac{V_u}{l \times (b_1 + b_n)}$

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

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



**Figure 55 - Repérage des épaisseurs unitaires d'un « Thermacoffré® » et d'un « Thermacoffré CPT »**

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

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

Cette contrainte peut alors être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée au paragraphe 2.5.2.3 Prescriptions particulières aux poutres. Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

### 2.5.3.2. Prescriptions particulières aux procédés Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT enterrés

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

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

Les armatures de reprise au niveau des planchers sont disposées dans le béton coulé en place ou peuvent être intégrées dans les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » au moyen de boîtes d'attentes.

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

## 2.6. Conditions de fabrication

### 2.6.1. Fabrication

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont fabriqués en usine.

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.

La fabrication consiste à réaliser une première paroi en béton armé équipée d'une plaque 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 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 lames ; la précision requise est obtenue moyennant le contrôle régulier et l'ajustement, si nécessaire, des paramètres de la machine de retournement.

Le processus est le suivant :

1. Nettoyage des tables de coffrage destinées à la fabrication de la paroi ;
2. Mise en place des coffrages de la première paroi ;
3. Traçage et pose des mannequins bois des baies ;
4. Projection d'un décoffrant ;
5. Fabrication des armatures et pose des armatures et crochets de levage sur les tables ;
6. Contrôle de la conformité par rapport au plan de coffrage ferrailage ;
7. Fabrication du béton et acheminement jusqu'à la trémie de répartition ;
8. Répartition du béton sur les tables ;
9. Compactage contrôlé si le béton n'est pas un BAP ;
10. Découpage et perçage des plaques de polystyrène avant le début de la fabrication ;
11. Insertion des connecteurs dans les plaques de polystyrène ;
12. Pose des plaques de polystyrène équipées de connecteur dans le béton frais ;
13. Compactage final si le béton n'est pas un BAP ;
14. Durcissement de la paroi extérieure ;
15. Coffrage de la paroi intérieure ;
16. Pose d'un ou deux lits d'armatures et raidisseurs de la paroi intérieure ;
17. Coulage de la paroi intérieure ;

18. Retournement de la paroi extérieure durcie ;
19. Intégration de la paroi extérieure équipée de l'isolant, de connecteurs et distanciers dans la paroi intérieure ;
20. Compactage contrôlé si le béton n'est pas un BAP ;
21. Durcissement de l'ensemble ;
22. Après durcissement, verticalisation puis décoffrage ;
23. Stockage provisoire dans un rack adapté pour nettoyage et finition ;
24. Marquage, colisage dans un conteneur et expédition suivant l'ordre de pose sur chantier.

## 2.6.2. Contrôle de fabrication

### 2.6.2.1. Contrôle des bétons

Les bétons destinés à la fabrication des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » font l'objet d'un contrôle régulier conformément à la NF EN 206/CN.

Pour le procédé « Thermacoffré® », les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

- La résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées,  $f_{ck,p}$
- Épaisseur des parois,  $b_1$  et  $b_2$
- Enrobages des armatures
- Ancrage des connecteurs de 50 mm minimal

### 2.6.2.2. Contrôle des raidisseurs

Les raidisseurs sont certifiés par un organisme extérieur.

Les critères de certification sont les suivants :

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

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

Les raidisseurs couramment utilisés sont les suivants :

Raidisseurs utilisés	Intersig CKT	ACOR	BDW-KT 800
Ø Membrure sup.(mm)	7	7	8
Ø membrures Inf.(mm)	5	5	5
Ø Diagonales (mm)	5	5	5

### 2.6.2.3. Contrôles Qualité

On distingue :

- Le contrôle de la conformité du coffrage et ferrailage de la paroi 1 avant bétonnage ;
- Avant le 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 1 et mise en place de l'isolant, contrôle de la position des connecteurs et jointoiement des plaques ;
- Après assemblages des parois, contrôle de l'épaisseur du mur fini et de l'alignement des deux parois ;
- Après décoffrage contrôle de l'état de surface.

#### 2.6.2.3.1. Thermacoffré®

L'ensemble des contrôles est réalisé d'après la NF EN 14992 et le référentiel NF 548. Le procédé Thermacoffré® fait l'objet d'une certification NF 548.

#### 2.6.2.3.2. Thermacoffré®-CPT

L'ensemble des contrôles est réalisé d'après la NF EN 14992. Le procédé « Thermacoffré® CPT » ne fait pas l'objet d'une certification.

## 2.6.3. Caractéristiques dimensionnelles et tolérances

Les panneaux en « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » ont un poids propre de 250 à 350 kg/m<sup>2</sup> suivant les épaisseurs des parois et la quantité d'armatures.

Les dimensions maximales courantes sont hauteur x largeur ou largeur x hauteur : 3,8 x 12,80

Épaisseur courante des « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » 16, 18, 20, 22, 24, 25, 30,34, 36, 40, 45, 50 cm.

Tolérances dimensionnelles : conforme aux prescriptions du référentiel NF 548.

Tolérances sur l'enrobage des armatures : -2/0 mm.

Tolérances sur la hauteur des raidisseurs : +1/-3 mm.

### 2.6.3.1. Thermacoffré®-CPT

Tolérances dimensionnelles : conforme aux prescriptions de la NF EN 14992 (classe B) et du CPT MCI (§1 du Cahier 3690 V2).  
Tolérances sur l'enrobage des armatures : +/-5 mm.

### 2.6.4. Finitions et Aspect

Tous les panneaux présentent une surface brute de décoffrage.

#### 2.6.4.1. Planéité

La planéité est conforme aux prescriptions de la certification NF selon le référentiel NF 548 pour les Thermacoffrés®.  
La planéité est conforme aux exigences de la NF EN 14992 pour les Thermacoffrés®-CPT.

#### 2.6.4.2. Texture

La texture est de type E(3) suivant la NF P 18-503, soit une surface de bulle < à 0,3 cm<sup>2</sup> et un bullage réparti < à 2%.

#### 2.6.4.3. Teinte

L'homogénéité de la teinte des parois n'est pas un paramètre qui peut faire l'objet d'une garantie.

La teinte courante des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » est le gris clair, avec un écart admis de type T(2) suivant la NF P 18-503.

### 2.6.5. Condition de manutention et transport

#### 2.6.5.1. Prescriptions concernant la manutention

La manutention des éléments s'effectue uniquement par les boucles de levage incorporées aux Thermacoffrés® et Thermacoffré® CPT.

---

## 2.7. Prescriptions concernant le transport des panneaux

---

En fonction de leurs dimensions et de leur destination, les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sont conditionnés verticalement dans des :

- Conteneurs ;
- Conteneurs auto-déchargeables nommés conteneurs araignés ;
- Plateforme auto-déchargeables nommées plateformes.

Le transport à plat est exceptionnellement autorisé pour des petits éléments d hauteur inférieure à 1m et longueur inférieure à 6 m ou des panneaux de surface maximale 7,50 m<sup>2</sup> et hauteur inférieure à 2,50m.

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.

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

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

#### 2.7.1. Prescriptions concernant le stockage des panneaux sur chantier.

L'entreprise prévoit une aire de stockage stabilisée et plane compatible avec le déchargement des conteneurs et plateformes.

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.

Après la pose et l'étalement des panneaux, les boucles de levage sont à sectionner de manière à permettre la libre dilatation de la peau extérieure.

Chaque conteneur est accompagné d'une fiche de stockage reprenant le contenu détaillé du conteneur.

Le stockage à plat est à proscrire.

---

## 2.8. Dispositions de mise en œuvre

---

La mise en œuvre des « Précoffré TH » devra être réalisée en respectant les prescriptions de la publication « Murs à Coffrage Intégré (MCI). Prescriptions minimales à intégrer à la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité », de l'Assurance maladie, de l'OPP BTP et de l'INRS et les prescriptions qui suivent.

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.

La mise en œuvre est 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 le dossier technique ; 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.

### 2.8.1. Equipements nécessaires à la pose

Liste des équipements nécessaires à la pose des « Thermacoffrés® » et « Thermacoffré® CPT » :

- Les dispositifs de sécurité : échelles plateformes à grappin, garde-corps, nacelles etc. ;
- Les équipements de levage : palonnier, élingues, élinguettes de répartition et poulies ;
- Etais tirant poussant, lest en béton ;
- Dispositif de sécurité et gardes corps ;
- Petit matériel ;
- Des inserts relatifs aux dispositions de protection collectives peuvent être intégrés lors de la fabrication des MCII uniquement sur demande et fourniture des spécifications ( fourreaux de garde-corps noyés dans le raidisseur, ...).

### 2.8.2. Dimensionnement des lests et étais de stabilisation provisoire

La stabilité des procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT », en phase provisoire, nécessite une attention toute particulière, vis à vis d'éventuels efforts principalement dus au vent.

Les éléments sont présentés, réglés et calés à leur position définitive. La stabilité est assurée à l'aide d'étais tirant-poussant ancrés aux procédé « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » au deux-tiers de la hauteur, soit sur un lest en béton, soit directement sur la dalle ou le radier en béton.

Le dimensionnement des étais et des lests est 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).

### 2.8.3. Préparation du chantier

Nettoyer le support,

Utiliser le plan de pose pour :

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

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

### 2.8.4. Réception du chargement et réalisation du déchargement

- Vérifier la stabilité de tous les « Thermacoffrés®/Thermacoffrés CPT » (chaque MCII doit être solidarisé de façon individuelle au conteneur) ;
- Les boucles de levage se trouvent en tête du mur ;
- Pour accéder aux boucles, il faut utiliser une échelle plateforme à grappins, ou une nacelle élévatrice ;
- Le levage est réalisé avec un palonnier ou avec des élingues (Cf. 2.6.5.1) ;
- Le nombre de boucles de levage est précisé sur les fiches de fabrication qui accompagnent le plan de pose ;
- Accrocher les élingues au MCII puis enlever le dispositif de maintien du mur au conteneur ;
- Décharger les MCII ;
- Pendant le déchargement ne pas stationner :
  - Sous la charge ;
  - Sur le conteneur ou plateforme ;
  - Sur la remorque.

Lorsque c'est nécessaire, effectuer le guidage du mur avec une corde

### 2.8.5. Pose des MCII de hauteur courante.

La pose des MCII « Thermacoffrés® » et « Thermacoffré® CPT », doit être conforme au plan général de pose fourni par le préfabricant.

1. Décharger le MCII ;
2. Poser le MCII sur les cales ;
3. Stabiliser le mur avec les étais tirant-poussant qui sont ancrés aux douilles M16 du MCII d'une part et aux lests béton ou radier d'autre part. Régler l'aplomb ;
4. Relâcher la tension sur les élingues après s'être assuré que le MCII est stable ;
5. Les armatures de liaison peuvent être insérées avant ou après la pose du MCII suivant. Dans le cas de liaisons sismiques, suivre le mode opératoire spécifique ;
6. Il appartient à l'entreprise de faire la synthèse des armatures de liaison à mettre en œuvre sur le chantier à partir des plans d'exécution. Selon le type de liaison elle doit prévoir les armatures à mettre en place entre la pose de deux panneaux successifs ;
7. Cisailer les crochets de levage pour permettre la libre dilatation de la paroi extérieure ;
8. Coller les joints compribandes ou bande compressible isolante sur les chants horizontaux et verticaux du polystyrène ainsi que tous les accessoires indispensables à la réalisation de l'étanchéité de façon à empêcher la fuite de laitance et créer un pont thermique. Le joint compribande peut être remplacé par l'injection de mousse polyuréthane après la pose ;
9. Poser le MCII suivant avec le joint prévu sur le plan de pose. Le joint entre deux MCII a été dimensionné pour permettre la libre dilatation de la paroi extérieure et l'entrechoquement de deux parois successives en cas de séisme. Le poseur contrôlera la côte du joint avec une cale d'épaisseur égale au joint. Si cela n'a pas été fait précédemment, engager l'armature de liaison par le haut du mur. Pour cela utiliser une échelle plateforme à grappin ;
10. Poser les armatures de chaînage.

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 200mm sous l'arase. Cette distance doit être compatible avec la longueur de recouvrement des armatures.

### 2.8.6. Pose des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® » CPT de hauteur > 3,80 m

Le MCII est livré verticalement sur chant.

Dans ce cas, le mur est équipé de boudes de levage en tête et sur le grand côté (généralement 4 par côté, compte tenu de son poids)

Le levage du MCII est effectué comme suit :

- Accrocher le MCII sur le grand côté ;
- Poser le MCII dans le dispositif de relevage, puis enlever les élingues ;
- Cisailer les crochets disposés sur le grand côté pour permettre la libre dilatation de la paroi extérieure et permettre le passage des armatures de liaison ;
- Accrocher l'élingue à poulie aux boudes situées sur le petit côté du MCII ;
- Redresser le MCII ;
- Finir la pose comme en 2.8.5.

### 2.8.7. Bétonnage.

Avant bétonnage il conviendra de :

- Humidifier les parois coffrantes du MCII, tout excès d'eau en pied de coffrage doit être évacué avant bétonnage ;
- S'assurer que les dispositifs d'étanchéité des coffrages en rive basse et dans les joints ont été correctement mis en place.

Le bétonnage en œuvre doit être réalisé en fonction de l'épaisseur et de la hauteur des panneaux conformément aux dispositions définies au CCTP et au paragraphe 2.5.1.8.

La classe du béton à mettre en œuvre doit être conforme à celle définie par les plans du BET Structures sans être inférieure à la classe C25/30 et de consistance S4 (voir §2.2.3.3 pour les caractéristiques du béton de remplissage). Sur spécifications particulières indiquées sur les plans d'exécution, un béton vibré de consistance S3 peut être utilisé pour les murs d'épaisseur supérieure ou égale à 25 cm.

La vitesse de bétonnage courante ne doit pas excéder les prescriptions du paragraphe 2.5.1.8.2 page 29. La vitesse de bétonnage est précisée au-dessus du cartouche. Une pause d'une heure est prévue entre chaque levée de bétonnage.

Dans le cas de liaisons encastrees ou couturées, présentant une forte densité d'armatures, et notamment dans le cas des joints pour lesquels l'étanchéité des ouvrages avec pression hydrostatique est assurée par le béton seul, les zones coulées en place au droit des joints verticaux doivent être vibrées.

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

### 2.8.8. Tolérances de pose des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

Sauf indication contraire dans le CCTP la mise en place des MCII doit être suffisamment précise pour que l'ouvrage réalisé ait les dimensions prévues avec les tolérances suivantes.

#### Tolérances relatives à un niveau

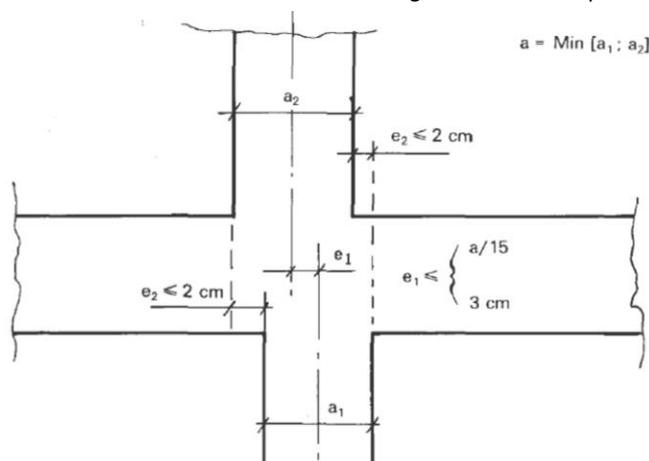
La tolérance admise sur la distance entre deux murs est de  $\pm 2$  cm.

Ecart d'implantation des parois à parements verticaux ayant même plan axial.

L'écart d'implantation  $e_1$  maximal mesuré horizontalement entre la trace sur leur plancher commun des plans axiaux de deux MCII ne doit pas dépasser  $1/15$  de l'épaisseur du mur le moins épais, avec un maximum de 3 cm.

En outre l'écart  $e_2$  maximal mesuré horizontalement entre les traces des plans de parements des MCII de part et d'autre d'un plancher ne doit pas dépasser 2 cm.

L'écart sur la verticalité du parement d'un MCII sur une hauteur d'étage. Cet écart ne peut dépasser 2 cm



## 2.9. Etanchéité-traitement des joints

### 2.9.1. Prescriptions communes

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. En particulier les supports seront préparés de manière à être plans, exempts de laitance, dépoussiérés et secs.

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.

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.

Il est prévu des tissus drainants dans certains cas de figures (au droit de murs enterrés et des acrotères notamment) pour permettre la libre dilatation entre la peau extérieure librement dilatable et le béton coulé en place. La face de ces matériaux située du côté béton coulé ne devra pas permettre le passage de la laitance du béton.

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.

### 2.9.2. Murs courants superstructure

#### 2.9.2.1. Paroi extérieure

Il convient de rappeler que la paroi extérieure est susceptible de se dilater ou de se rétracter en fonction du différentiel de température entre l'extérieur et l'intérieur du bâtiment. Cette dilatation est compensée par le jeu fonctionnel prévu entre deux panneaux successifs. La cote du jeu fonctionnel doit être prise en compte lors de la conception du revêtement.

##### 2.9.2.1.1. Murs de façade revêtus

Les murs isolés par l'extérieur ou revêtus d'un bardage ne nécessitent pas de traitement des joints entre MCII

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.

##### 2.9.2.1.2. Murs de façade bruts de fabrication, peints ou lasurés

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » 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. Le chanfrein doit rester marqué. Dans tous les cas, on veillera à la compatibilité du produit de traitement du joint et de la lasure ou peinture utilisée. Au croisement de 4 panneaux superposés accolés

ont disposera une équerre PVC susceptible de canaliser des eaux d'infiltration et on prévoira une évacuation de ces infiltrations potentielles.

- L'étanchéité du joint est traitée avec un profil PVC de type Couvraneuf ou équivalent : Les gouttières intégrées aux parois extérieures et les profils de jonction sont mis en œuvre suivant le cahier des charges du fabricant.

### 2.9.2.1.3. Murs de façade enduits

#### *Cas des enduits hydrauliques*

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » traités à l'aide d'un enduit hydraulique doivent faire l'objet des mêmes traitements de joint que les procédés « Thermacoffrés® » et « Thermacoffré® CPT » restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés. La compatibilité du mastic élastomère et de l'enduit hydraulique devra être vérifiée. Le joint reste marqué, l'enduit ne peut recouvrir le joint.

#### *Cas des enduits d'imperméabilisation*

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » qui sont traités à l'aide d'un enduit d'imperméabilisation qui ne couvre pas les joints (chanfrein marqué) doivent faire l'objet des mêmes traitements de joints que les murs restant bruts de décoffrage, peints ou lasurés.

### 2.9.2.2. Paroi intérieure

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. 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.

Pour les autres locaux, le traitement du joint est réalisé à l'aide d'un mortier hydraulique à retrait compensé. L'apparition de fines fissures au niveau de ces joints est toutefois possible mais sans autre inconvénient que leur aspect.

### 2.9.3. Murs courants en infrastructure

#### 2.9.3.1. Paroi extérieure courante

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.

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

#### 2.9.3.2. Paroi intérieure

La face intérieure sera traitée selon les mêmes critères que les parements intérieurs des murs en superstructure.

---

## 2.10. Conditions d'exploitation du procédé

---

### 2.10.1. Conception et commercialisation

Les sociétés H&H Technologies, IDSB et IDSB Nord Est, qui ont des actionnaires communs sont cotitulaires de l'avis technique. Le calcul des structures est effectué par le BET Structures de la Maîtrise d'œuvre du chantier en tenant compte des spécificités du procédé. Le Bureau d'Etudes interne des sociétés IDSB, IDSB Nord-Est et des sociétés exploitant le procédé s'engagent à effectuer :

- La vérification de la contrainte de cisaillement à l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place, qui est spécifique aux procédés de murs à coffrage intégré, ou à s'assurer que cette vérification a bien été effectuée par le BET Structures de l'opération ;
- Le dimensionnement des connecteurs qui relie la paroi extérieure librement dilatable à la paroi intérieure suivant l'avis technique ;
- Les plans de ferrailages des panneaux, à partir des plans du bureau d'études de structures et des dispositions et règles de calculs propres au procédé ;
- L'intégration des réservations et incorporations des lots techniques à partir des plans d'exécution techniques.

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

Le calepinage des panneaux est effectué par les sociétés IDSB, IDSB Nord-Est et les sociétés exploitant le procédé et soumis à l'approbation du BET structures par l'intermédiaire de l'entreprise titulaire du marché de génie civil.

Le BET structures de la Maîtrise d'œuvre doit tenir compte des conditions particulières de la conception parasismique des bâtiments avec ce 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 connecteurs et de la largeur des joints. Ces plans mentionnent également la stabilité au feu pour laquelle les murs et les connecteurs ont été dimensionnés.

### 2.10.2. Fabrication

La fabrication est réalisée dans des usines suivantes :

- IDSB Production Neuilly, rue de la libération 02470 NEUILLY-SAINT-FRONT ;
- IDSB Production RHONE ALPES, ZI MUNERI Route d'Aoste 33480 ROMAGNIEU ;

- Buerkle Bétonwerk, Heideweg 8 D-77880 SASBACH ;
- Beton-Betz GMBH, Rappenauer strasse 46 D-74912 KIRCHARDT ;
- Prefaxis Kasteelstraat 9 B-8980 Geluvelid ;
- EMC 4 route de Longré 79110 Loubillé.

### 2.10.3. Mention des justificatifs

#### 2.10.3.1. Résultats expérimentaux

- Essai de cisaillement sous charges permanentes au droit d'un ancrage pour des panneaux de façade en trois couches d'après le DEHA-TM-SYSTEM rédigé par le Prof. Dr. Ing. W. RAMM de l'Université de construction massive de Kaiserslautern (en octobre 1992) ;
- Essai de traction sous charges dynamiques (22000 cycles) au droit d'un ancrage pour des panneaux de façade en trois couches d'après le DEHA-TM-SYSTEM rédigé par le Prof. Dr. Ing. W. RAMM de l'Université de construction massive de Kaiserslautern (en octobre 1992) ;
- Rapport d'essais n° SM/99-0024 Appréciation de la tenue de connecteurs en matériau composite à base de fibres de verre. Rédigé et réalisé par le Centre Scientifique du Bâtiment de Grenoble ;
- Approche théorique et expérimentale du comportement des murs composite en béton de grande hauteur, soumis au programme thermique normalisé décrit par l'arrêté du 3 août 1999. CSTB ;
- Essais n° RS04-109 concernant le comportement au feu d'un élément de construction en béton composite CSTB ;
- Etude N° ER 556 01 1001a du comportement de panneaux de grande hauteur en béton vis-à-vis de l'incendie (CSTB) ;
- Essai de résistance au feu de murs sandwichs en béton d'après la norme BS EN 1364-1 : 1999 ;
- Note de calcul relative au séisme pour le procédé de panneaux sandwichs de façade en béton armé « Thermacoffré® » CSTB le 01/02/2011 ;
- Etude du comportement au Feu d'un procédé de panneaux sandwich « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » - appréciation de laboratoire CSTB n AL16-198\_V3 ;
- Justification de la conformité d'une façade constituée de Murs à Coffrage et Isolation Intégrés (Procédés Thermacoffré et Thermacoffré-CPT) vis-à-vis du risque de propagation du feu par les façades - Appréciation de Laboratoire n° 024731 délivrée par le CERIB
- Vérification des connecteurs de liaison dans les panneaux « Thermacoffré® » par CSTB le 10/10/2011.

#### 2.10.3.2. Données Environnementales

Les procédés « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » ne font pas l'objet d'une déclaration (DE). Il ne peut donc revendiquer aucune performance environnementale particulière.

Les données issues des DE ont notamment pour objet de servir au calcul des impacts environnementaux des ouvrages dans lesquels le procédé est intégré.

#### 2.10.3.3. Références chantiers

- Gymnase Quartier Maroc Creutzwald (2021) : 1000 m<sup>2</sup>
- Atelier de Maroquinerie à Avoudrey (2018) : 1407 m<sup>2</sup>
- Manufacture Camille Fournet (2018) : 1300 m<sup>2</sup>
- Anios Lezennes (2018) : 1276 m<sup>2</sup>
- Maison d'arrêt de Corbas (Eiffage) 7000 m<sup>2</sup> de Thermacoffrés®. Le plus grand « Thermacoffrés® » avait une hauteur de 8,5 sans joint de fractionnement. Les pré cadres avec barreaudage étaient intégré aux « Thermacoffrés® ». Fabrication usine Buerkle.
- Atelier communautaire à Metz (Soludec) 1200 m<sup>2</sup> de « Thermacoffrés® » de grande hauteur sans joints de fractionnement. Fabrication usine Buerkle
- Campus Tohannic à Vannes (Eiffage Bretagne). 2500 m<sup>2</sup> de « Thermacoffrés® » matricés, incliné vers l'extérieur, et disposés à facettes. Fabrication usine Préfaxis
- Collège Mermoz à Laon (Cari-Thouraux) 2200 m<sup>2</sup> de Thermacoffrés® matricés. Fabrication usine Buerkle
- Divers projets représentant plus de 20000m<sup>2</sup>.

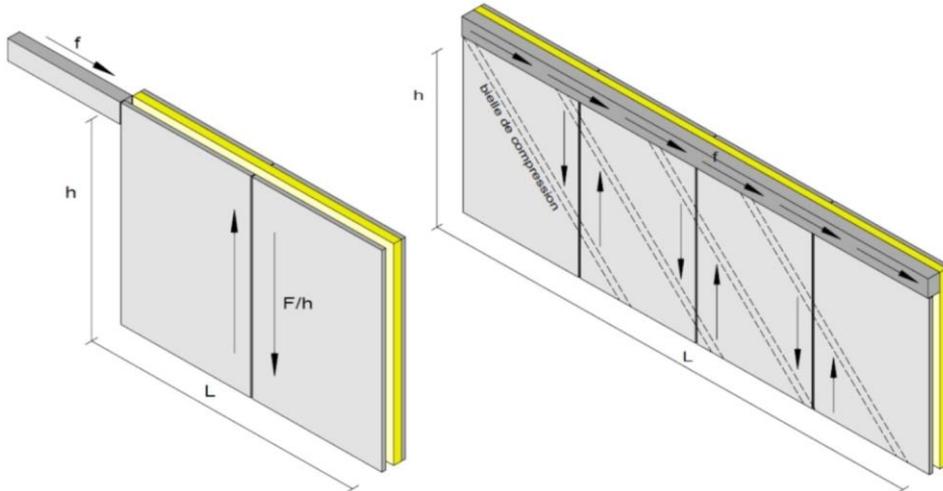
## 2.11. Annexe 1 : Poutres voiles incorporées aux MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

### 2.11.1. Détermination des efforts sollicitants

#### 2.11.1.1. Contreventement

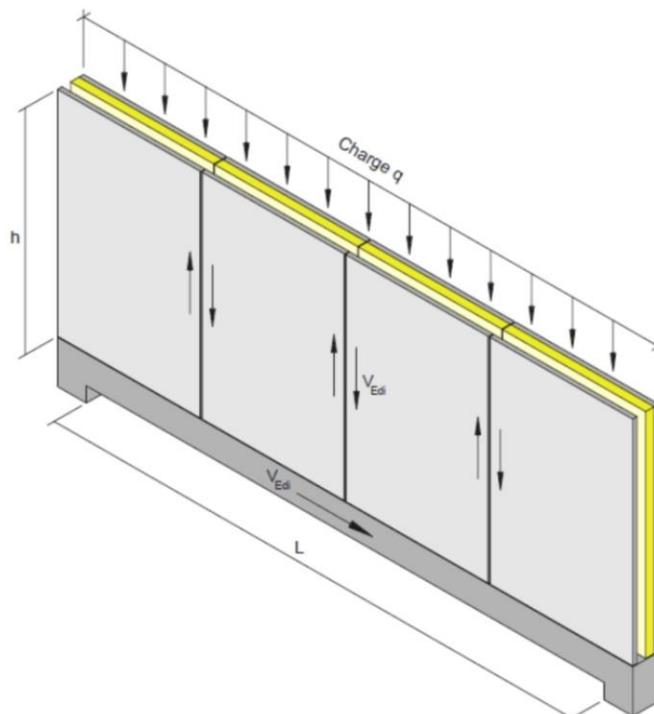
Cas 1 : reprise d'une charge ponctuelle horizontale sur un mur développant une bielle de compression.

Cas 2 : reprise d'une charge linéaire horizontale sur un mur développant  $n$  bielles de compression.



**Figure 56 - Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement**

#### 2.11.1.2. Poutre voile



**Figure 57 - Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-voile**

$$V = q \times l/2$$

$$V_{Edi} = V / \min(h ; l)$$

## 2.12. Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre MCII « Thermacofré® » et « Thermacofré® CPT »

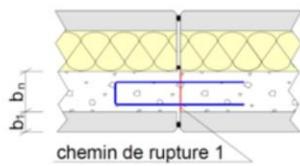


Figure 58 - Chemin de rupture 1

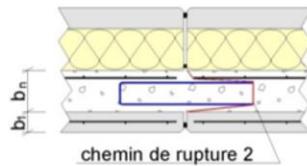


Figure 59 - Chemin de rupture 2

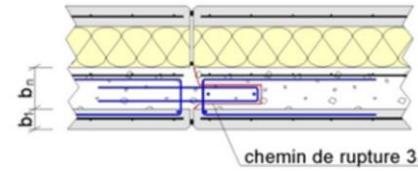


Figure 60 - Chemin de rupture 3

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  $\mu$  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 :  $c = c_{E2-lisse}/1,1$  ( $\mu = \mu_{E2-lisse}$ )

Nota : surface « lisse » est utilisé ici suivant la définition de la NF 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.

Pour le plan de rupture 1 :

$$V_{Rd1} = \left( c \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} + \mu \times \sigma_n \times x \right)$$

Pour le plan de rupture 2 :

$$V_{Rd2} = \left( c \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} \times 2 \times x + \mu \times \sigma_n \times 2 \times x \right) \times 1$$

Pour le plan de rupture 3 :

$$V_{Rd3} = \left( c \cdot \frac{f_{t,n}}{\gamma_c} \times 2 \times x + \mu \times \left( \sigma_n + \rho \cdot \frac{f_e}{\gamma_s} \right) \times 2 \times x \right) \times 1$$

Avec :  $x$  la distance de l'about d'armature à l'axe du joint

$\rho$  : le pourcentage d'armatures traversant l'interface paroi préfabriquée/béton coulé en place sur la distance  $x$

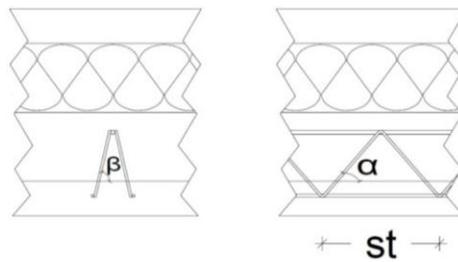
$$\rho = \frac{A_{cout}}{x}$$

Les coefficients  $c$  et  $\mu$  définis tels que ci-dessous :

ELU	Fondamental	Accidentel
$c$	0.18	0.09
$\mu$	0.6	0.3

### 2.13. Annexe 3 : Exemple de calcul de $\rho_\alpha$

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire, type Treillis Warren



**Figure 61 - Géométrie des raidisseurs type treillis Warren**

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha_t} = (2 \times A_d \times \sin \beta) / (st \times e)$$

Avec :

$A_d$  : sections d'une diagonale (m<sup>2</sup>)

$e$  : espacement des raidisseurs (m)

$st$  : pas de sinusoïde (m)

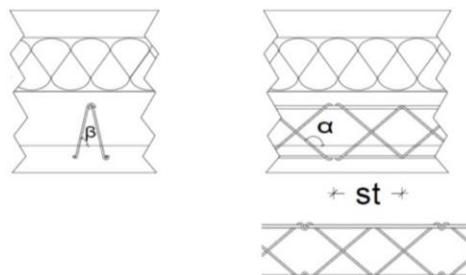
$\beta$  : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

- Espacement des raidisseurs = 60 cm
- Diagonales  $\varnothing$  5 mm
- Pas de la sinusoïde  $st = 20$  cm
- $\beta = 86^\circ$ , soit  $\sin \beta = 0,997$

On obtient  $\rho_\alpha = \rho_{\alpha_t} = 0,0326 \%$

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde



**Figure 62 - Géométrie des raidisseurs double sinusoïde**

$$\rho_\alpha = \rho_{\alpha_t} = (2 \times A_d \times \sin \beta) / (st \times e)$$

Avec :

$A_d$  : sections d'une diagonale (cm<sup>2</sup>)

$e$  : espacement des raidisseurs (m)

$st$  : pas de sinusoïde (m)

$\beta$  : inclinaison des diagonales dans le plan transversal

Par exemple pour :

- Espacement des raidisseurs = 60 cm
- Diagonales  $\varnothing$  6 mm
- Pas de la sinusoïde  $st = 30$  cm
- $\beta = 86^\circ$ , soit  $\sin \beta = 0,997$

On obtient  $\rho_\alpha = \rho_{\alpha_t} = 0,0313 \%$

## 2.14. Annexe 4 : Exemple de calcul de

Le cisaillement admissible  $\tau_{ulim}$  à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place (cf. 2.5.2.3 et 2.5.3.1) est donné par l'expression :

$$\tau_{ulim} = \min(v_{Rdi} ; 0,5 \times v \times f_{cd}) \text{ et } v_{Rdi} = c \times f_{ctd} + \rho_{\alpha} \times f_t (\mu \times \sin \alpha + \cos \alpha) + \rho_{\alpha'} \times f_t (\mu \times \sin \alpha' + \cos \alpha')$$

Avec :

- $f_{cd}$  : valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage ( $\alpha_{cc} \times f_{ck,n} / \gamma_c$ )
- $f_{ctd}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage ( $\alpha_{ct} \times f_{t,n} / \gamma_c$ )
- $f_t = \text{Min}(f_{yk} / \gamma_s ; R / (A_d \cdot \gamma_s))$
- $f_{yk}$  = limite caractéristique d'élasticité des aciers
- $R$  : résistance des soudures
- $A_d$  = section d'une diagonale du raidisseur treillis
- $v = 0,6 \times (1 - f_{ck,n} / 250)$
- c tel que :
  - Cas des charges à caractère principalement statiques :  $c = 0,35/2$
  - Cas des charges dynamiques ou de fatigue :  $c = 0,35/4$
- $\mu = 0,6$
- $\alpha$  et  $\alpha'$  : inclinaisons des diagonales dans le plan longitudinal
- $\rho_{\alpha}$  et  $\rho_{\alpha'}$  : pourcentages des armatures transversales ancrées de part et d'autre du plan de reprise suivant l'angle  $\alpha$  ou  $\alpha'$ , calculés comme présenté à l'Annexe II,

Ainsi par exemple

- Pour un béton de remplissage tel que  $f_{ck,n} = 25$  MPa,  $f_{cd} = 16,7$  MPa et  $f_{ctd} = 1,20$  MPa
- Pour des raidisseurs de section triangulaire, type treillis Warren, espacés de 60 cm, avec  $f_{yk} = 500$  MPa,  $R = 980$  daN dont les caractéristiques géométriques sont les suivantes :  $\emptyset$  diagonales = 5 mm, pas de la sinusoïde = 20 cm,  $\alpha = 56^\circ$ ,  $\alpha' = 180 - 56 = 124^\circ$  et  $\beta = 86^\circ$

Le pourcentage d'armatures transversales est calculé comme présenté dans l'Annexe II et on obtient  $\rho_{\alpha} = \rho_{\alpha'} = 0,0326\%$ . De

plus, 
$$f_t = \text{Min}\left(\frac{f_{yk}}{\gamma_s} ; \frac{R}{A_d \cdot \gamma_s}\right) = \text{Min}\left(\frac{500}{1,15} ; 9800 / (1,15 \times \frac{\pi 5^2}{4})\right) = 434 \text{ MPa.}$$

On en déduit la valeur de  $v_{Rdi}$  :

$$v_{Rdi} = 0,175 \cdot 1,2 + 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 434 (0,6 \times \sin 56^\circ + \cos 56^\circ) + 3,26 \cdot 10^{-4} \cdot 434 (0,6 \cdot \sin 124^\circ + \cos 124^\circ)$$

$$v_{Rdi} = 0,35 \text{ MPa}$$

De plus comme  $v_{Rdi} < 0,5 v f_{cd} = 0,5 \cdot 0,6 \times (1 - 25 / 250) \cdot 16,7 = 4,5$  MPa.

On a donc :

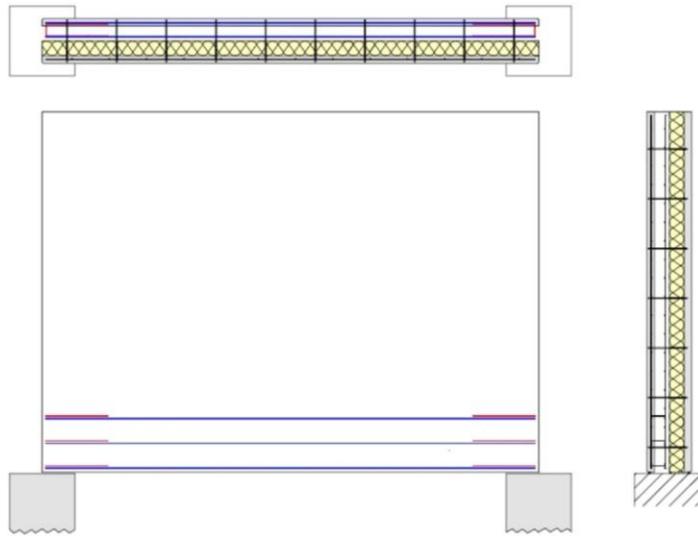
$$\tau_{ulim} = 0,35 \text{ MPa}$$

En resserrant les armatures suivant un espacement de 50 cm, le pourcentage d'armature est alors  $\rho = 0,0392\%$ . la valeur admissible de cisaillement à l'interface devient :

$$\tau_{ulim} = 0,38 \text{ MPa}$$

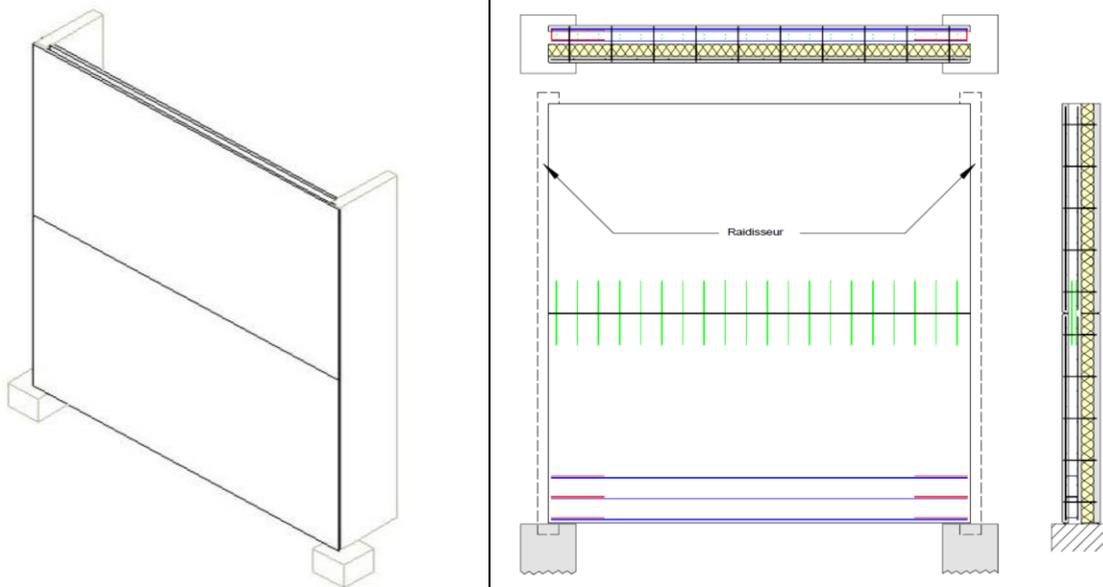
## 2.15. Annexe 5 : Principe de conception des poutres voiles réalisées en MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

### Cas 1

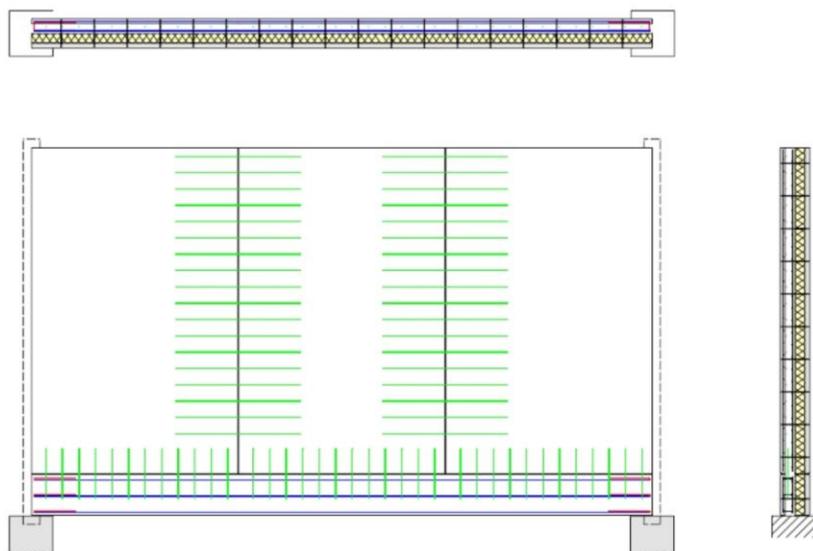


- Poutre voile réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le MCII
- Cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières étant donné l'absence de joints hormis la vérification du déversement si nécessaire.
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation

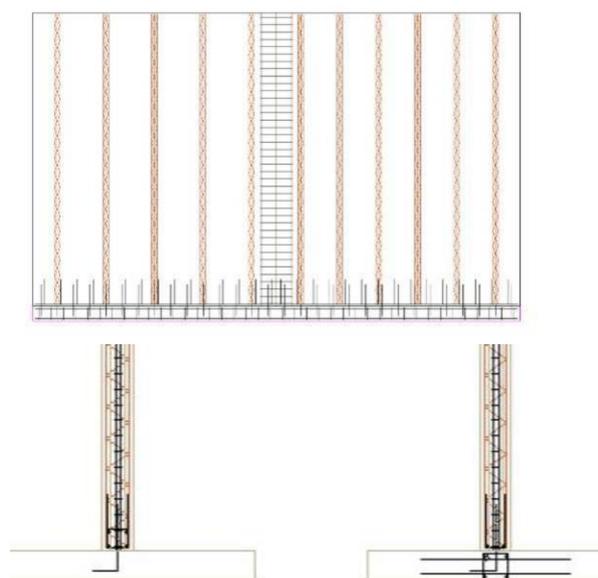
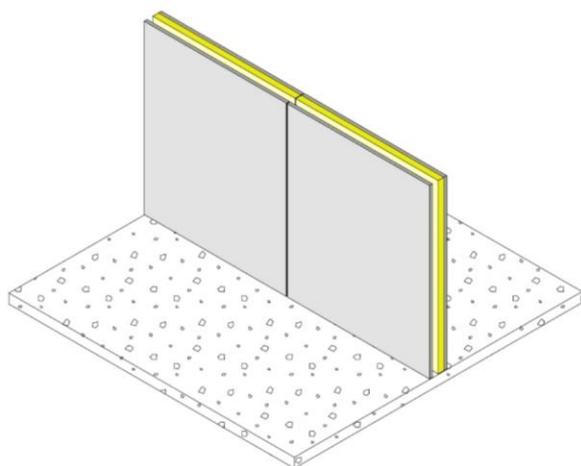
### Cas 2



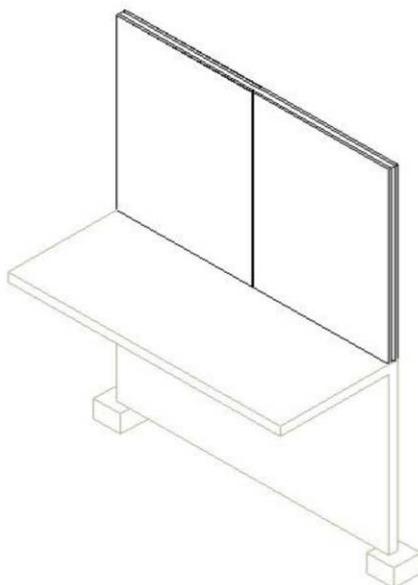
- Poutre voile réalisée avec plusieurs MCII superposés.
- Cette solution nécessite la vérification du joint à l'effort tranchant
- Le type de liaison est choisi en fonction de l'effort à reprendre
- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation
- Observation : ce type de configuration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

**Cas 3**

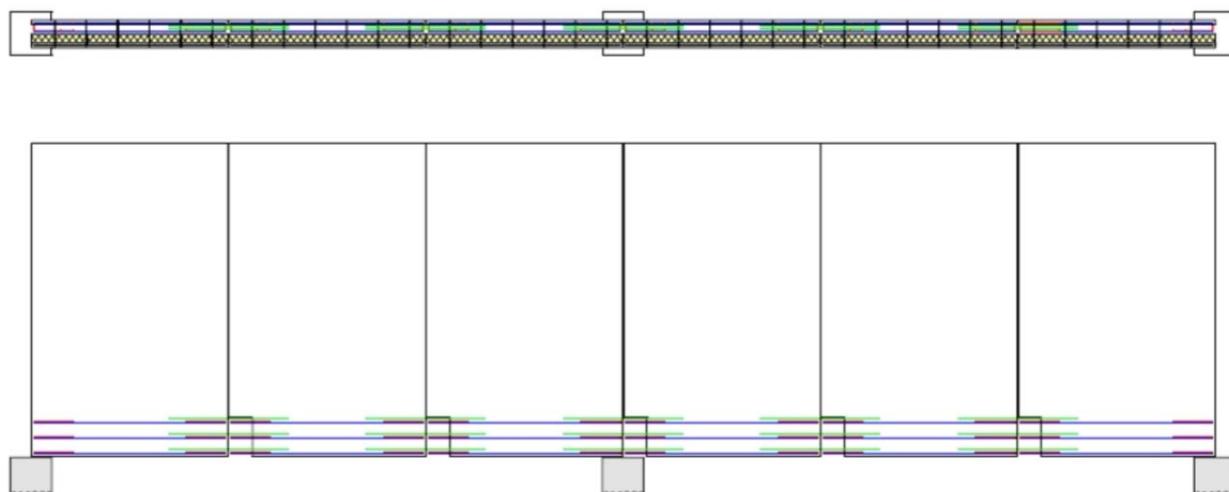
- Poutre voile en plusieurs parties
- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée, la zone supérieure est constituée de MCII
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis en fonction de l'effort à reprendre.

**Cas 4**

- 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 MCII.
- 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

**Cas 5**

- Poutre voile réalisée en deux parties
- La partie inférieure est réalisée de manière traditionnelle, la ou les parties supérieures sont réalisées à base de MCII.
- 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

**Cas 6**

- Poutre voile réalisée entièrement en MCII avec continuité sur une ou plusieurs travées
- Les tirants de la poutre voile sont intégrés en partie inférieure et supérieure des MCII, 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

**2.16. Annexe 6 : Dimensionnement à l'ELU standard des connecteurs disposés à 45°**

Hauteur du MCII	1,00	m	Ep. Paroi	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
						8,50	9,00		9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0
ei/lg panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
0,06	0,64	0,66	0,68	0,69	0,71	0,73	0,75	0,78	0,80	0,83	0,85	0,88	0,91	0,95
0,08	0,57	0,58	0,59	0,60	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69
0,10	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,59	0,59	0,60	0,60	0,61
0,12	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,57	0,57	0,57
0,14	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,55	0,55	0,55	0,55
0,16	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,54	0,54	0,54	0,54
0,18	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
0,20	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,53	0,53	0,53
Hauteur du MCII	2,50	m	Ep. Paroi	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
						8,50	9,00		9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0
ei/lg panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
0,06	1,61	1,65	1,69	1,74	1,78	1,83	1,89	1,94	2,00	2,07	2,14	2,21	2,29	2,37
0,08	1,44	1,45	1,47	1,49	1,51	1,53	1,55	1,57	1,59	1,62	1,64	1,66	1,69	1,71
0,10	1,37	1,38	1,39	1,40	1,41	1,42	1,43	1,44	1,46	1,47	1,48	1,49	1,51	1,52
0,12	1,33	1,34	1,35	1,36	1,36	1,37	1,38	1,38	1,39	1,40	1,41	1,41	1,42	1,43
0,14	1,31	1,32	1,32	1,33	1,33	1,34	1,34	1,35	1,35	1,36	1,37	1,37	1,38	1,38
0,16	1,30	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	1,32	1,33	1,33	1,34	1,34	1,34	1,35	1,35
0,18	1,29	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32	1,32	1,33	1,33	1,33
0,20	1,29	1,29	1,29	1,29	1,30	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,31	1,31	1,32	1,32
Hauteur du MCII	3,00	m	Ep. Paroi=	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
						8,50	9,00		9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00
ei/lg panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	12,50
0,06	1,93	1,98	2,03	2,08	2,14	2,20	2,26	2,33	2,40	2,48	2,56	2,65	2,74	2,84
0,08	1,72	1,74	1,77	1,79	1,81	1,84	1,86	1,89	1,91	1,94	1,97	2,00	2,03	2,06
0,10	1,64	1,65	1,67	1,68	1,69	1,71	1,72	1,73	1,75	1,76	1,78	1,79	1,81	1,82
0,12	1,60	1,61	1,62	1,63	1,63	1,64	1,65	1,66	1,67	1,68	1,69	1,70	1,71	1,72
0,14	1,58	1,58	1,59	1,60	1,60	1,61	1,61	1,62	1,63	1,63	1,64	1,64	1,65	1,66
0,16	1,56	1,57	1,57	1,58	1,58	1,58	1,59	1,59	1,60	1,60	1,61	1,61	1,62	1,62
0,18	1,55	1,56	1,56	1,56	1,57	1,57	1,57	1,58	1,58	1,58	1,59	1,59	1,59	1,60
0,20	1,55	1,55	1,55	1,55	1,56	1,56	1,56	1,56	1,57	1,57	1,57	1,58	1,58	1,58

**Tableau 5 Calcul aux ELU de la densité linéique de connecteurs TM 45° pour les MCII « Thermacoffré® » (épaisseur de paroi de 6 cm) de grande longueur en fonction de la hauteur et de la longueur du panneau (nombre de connecteurs par ml de longueur de panneau)**

Largeur du MCII	3,80	m	Ep. Paroi	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
ei/ht panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
0,06	3,48	3,77	4,06	4,35	4,64	4,93	5,22	5,51	5,80	6,09	6,37	6,66	6,95	7,24
0,08	3,27	3,54	3,81	4,08	4,36	4,63	4,90	5,17	5,44	5,72	5,99	6,26	6,53	6,81
0,10	3,18	3,44	3,71	3,97	4,24	4,50	4,77	5,03	5,30	5,56	5,83	6,09	6,35	6,62
0,12	3,13	3,39	3,65	3,91	4,17	4,44	4,70	4,96	5,22	5,48	5,74	6,00	6,26	6,52
0,14	3,10	3,36	3,62	3,88	4,14	4,40	4,66	4,91	5,17	5,43	5,69	5,95	6,21	6,47
0,16	3,09	3,34	3,60	3,86	4,11	4,37	4,63	4,89	5,14	5,40	5,66	5,92	6,17	6,43
0,18	3,07	3,33	3,59	3,84	4,10	4,36	4,61	4,87	5,12	5,38	5,64	5,89	6,15	6,40
0,20	3,07	3,32	3,58	3,83	4,09	4,34	4,60	4,85	5,11	5,37	5,62	5,88	6,13	6,39
Largeur du MCII	3,00	m	Ep. Paroi=	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
ei/ht panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
0,06	3,36	3,64	3,92	4,20	4,48	4,76	5,04	5,32	5,60	5,88	6,15	6,43	6,71	6,99
0,08	3,21	3,47	3,74	4,01	4,27	4,54	4,81	5,08	5,34	5,61	5,88	6,14	6,41	6,68
0,10	3,14	3,40	3,66	3,93	4,19	4,45	4,71	4,97	5,23	5,50	5,76	6,02	6,28	6,54
0,12	3,11	3,36	3,62	3,88	4,14	4,40	4,66	4,92	5,18	5,44	5,69	5,95	6,21	6,47
0,14	3,09	3,34	3,60	3,86	4,11	4,37	4,63	4,89	5,14	5,40	5,66	5,91	6,17	6,43
0,16	3,07	3,33	3,58	3,84	4,10	4,35	4,61	4,86	5,12	5,38	5,63	5,89	6,15	6,40
0,18	3,06	3,32	3,57	3,83	4,08	4,34	4,60	4,85	5,11	5,36	5,62	5,87	6,13	6,38
0,20	3,06	3,31	3,57	3,82	4,08	4,33	4,59	4,84	5,10	5,35	5,60	5,86	6,11	6,37
Largeur du MCII	2,50	m	Ep. Paroi	0,06	m	Distance au bord du premier connecteur TM 45°		x = 0,25m	ei = épaisseur de l'isolant					
ei/ht panneau	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00	10,50	11,00	11,50	12,00	12,50
0,06	3,29	3,56	3,83	4,11	4,38	4,66	4,93	5,20	5,48	5,75	6,02	6,30	6,57	6,85
0,08	3,17	3,43	3,70	3,96	4,23	4,49	4,75	5,02	5,28	5,55	5,81	6,07	6,34	6,60
0,10	3,12	3,38	3,64	3,90	4,16	4,42	4,68	4,94	5,20	5,46	5,72	5,98	6,24	6,50
0,12	3,09	3,35	3,61	3,86	4,12	4,38	4,64	4,89	5,15	5,41	5,67	5,92	6,18	6,44
0,14	3,07	3,33	3,59	3,84	4,10	4,36	4,61	4,87	5,12	5,38	5,64	5,89	6,15	6,41
0,16	3,06	3,32	3,57	3,83	4,09	4,34	4,60	4,85	5,11	5,36	5,62	5,87	6,13	6,38
0,18	3,06	3,31	3,57	3,82	4,08	4,33	4,59	4,84	5,09	5,35	5,60	5,86	6,11	6,37
0,20	3,05	3,31	3,56	3,81	4,07	4,32	4,58	4,83	5,09	5,34	5,60	5,85	6,10	6,36

**Tableau 6 - Calcul aux ELU de la densité linéique de connecteurs TM 45° pour les MCII « Thermacoffré® » (épaisseur de paroi de 6 cm) de grande hauteur en fonction de la hauteur et de largeur du panneau (nombre de connecteurs par ml de largeur de panneau)**

## 2.17. Annexe 7 : Situation Sismique

### 2.17.1. Calcul du coefficient d'accélération sismique en fonction du type de bâtiment de la zone de sismicité, et de la nature du sol

Valeur de l'accélération sismique horizontale en m/s <sup>2</sup>					
k=5.5 (qa=1)	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité 2	A	3,08	3,86	4,62	5,4
	B	4,16	5,2	6,24	7,28
	C	4,62	5,78	6,94	8,08
	D	4,92	6,16	7,4	8,62
	E	5,54	6,94	8,32	9,7
Zone de sismicité 3	A	4,84	6,06	7,26	8,48
	B	6,54	8,16	9,8	11,44
	C	7,26	9,08	10,9	12,7
	D	7,74	9,68	11,62	13,56
	E	8,72	10,9	13,06	15,24
Zone de sismicité 4	A	7,04	8,8	10,56	12,32
	B	9,5	11,88	14,26	16,64
	C	10,56	13,2	15,84	18,48
	D	11,26	14,08	16,9	19,72
	E	12,68	15,84	19	22,18

La force sismique horizontale agissant sur la paroi extérieure est égale à  $\gamma$  multiplié par la masse en kg de cette paroi.

**Tableau 7 - Accélération sismiques horizontales**

## 2.17.2. Dimensionnement du nombre de connecteurs en fonction de l'accélération, de l'épaisseur de la paroi extérieure et de l'isolant

2.17.2.1. Cas du Thermacoffré® avec une paroi extérieure de 6 cm et un isolant de 14 cm d'épaisseur.

Caractéristiques du système			
<b>Données géométriques</b>			
$e_i$	14	cm	<i>Épaisseur de la lame isolante</i>
$e_{vd}$	6	cm	<i>Épaisseur du voile librement dilatable</i>
$j$	1.5	cm	<i>Jeu nominal entre voiles</i>
$\Delta_{fab}$	0.5	cm	<i>Tolérance de fabrication</i>
$\Delta_{pose}$	0.0	cm	<i>Tolérance de pose <sup>(1)</sup></i>
$j_{min}$	1	cm	<i>Jeu toutes tolérances épuisées</i>
$u_{lim}$	0.75	cm	<i>Déplacement limite du voile</i>
<b>Caractéristiques mécaniques</b>			
$K_{T90}$	571	kN/m	<i>Raideur en traction des connecteurs TM90</i>
$K_{T45}$	404	kN/m	<i>Raideur en traction des connecteurs TM45</i>
$K_{C90}$	13.6	kN/m	<i>Raideur en cisaillement des connecteurs TM90</i>
$K_{C45}$	4.8	kN/m	<i>Raideur en cisaillement des connecteurs TM45</i>
$V_{Rk,90}$	0.43	kN	<i>Résistance caractéristique au cisaillement des connecteurs TM90</i>
$V_{Rk,45}$	0.30	kN	<i>Résistance caractéristique au cisaillement des connecteurs TM45</i>
$N_{Rk}$	13.6	kN	<i>Résistance caractéristique à la traction des connecteurs</i>
$V_{Rd90,stat}$	0.18	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM90 à l'<b>ELU statique</b></i>
$V_{Rd45,stat}$	0.13	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM45 à l'<b>ELU statique</b></i>
$N_{Rd,stat}$	5.67	kN	<i>Résistance à la traction des connecteurs à l'<b>ELU statique</b></i>
$V_{Rd90,dyn}$	0.14	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM90 à l'<b>ELU dynamique</b></i>
$V_{Rd45,dyn}$	0.10	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM45 à l'<b>ELU dynamique</b></i>
$N_{Rd,dyn}$	4.53	kN	<i>Résistance à la traction des connecteurs à l'<b>ELU dynamique</b></i>
<b>Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU standard</b>		connecteurs/m <sup>2</sup>	0,51

**Tableau 8 Hypothèses de calcul des connecteurs pour un Thermacoffré® avec isolant 14 cm, paroi extérieure 6 cm**

(1) Lorsque le jeu entre Thermacoffré® est garanti par une pose avec cale on ne prend en compte que la tolérance de fabrication de 5 mm

Connecteurs à 45° orientés verticalement vers le bas répartis suivant une ligne horizontale située environ à mi-hauteur											
Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]						Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]					
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	0,58	0,61	0,64	0,67	2	A	0,12	0,15	0,18	0,21
	B	0,62	0,66	0,70	0,74		B	0,16	0,21	0,25	0,29
	C	0,64	0,68	0,73	0,77		C	0,18	0,23	0,27	0,32
	D	0,65	0,70	0,74	0,79		D	0,19	0,24	0,29	0,34
	E	0,68	0,73	0,78	0,83		E	0,22	0,27	0,33	0,38
3	A	0,65	0,69	0,74	0,79	3	A	0,19	0,24	0,29	0,34
	B	0,71	0,77	0,83	0,90		B	0,26	0,32	0,39	0,45
	C	0,74	0,81	0,88	0,94		C	0,29	0,36	0,43	0,50
	D	0,76	0,83	0,90	0,98		D	0,31	0,38	0,46	0,54
	E	0,79	0,88	0,96	1,04		E	0,35	0,43	0,52	0,60
4	A	0,73	0,80	0,86	0,93	4	A	0,28	0,35	0,42	0,49
	B	0,82	0,91	1,00	1,09		B	0,38	0,47	0,56	0,66
	C	0,86	0,96	1,06	1,16		C	0,42	0,52	0,63	0,73
	D	0,89	1,00	1,10	1,21		D	0,45	0,56	0,67	0,78
	E	0,94	1,06	1,18	1,30		E	0,50	0,63	0,75	0,88

**Tableau 9 - Nombre de connecteurs TM 45°- ligne horizontale, sollicitations verticales - Hypothèses Thermacoffré® : Isolant 14 cm, paroi extérieure 6 cm.**

Densité minimale des connecteurs droits à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]					Densité minimale des connecteurs droits à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]						
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	3,24	4,06	4,85	5,67	2	A	4,52	5,67	6,78	7,93
	B	4,37	5,46	6,56	7,65		B	6,11	7,64	9,16	10,69
	C	4,85	6,07	7,29	8,49		C	6,78	8,49	10,19	11,86
	D	5,17	6,47	7,77	9,06		D	7,22	9,04	10,87	12,66
	E	5,82	7,29	8,74	10,19		E	8,13	10,19	12,22	14,24
3	A	5,08	6,37	7,63	8,91	3	A	7,11	8,90	10,66	12,45
	B	6,87	8,57	10,30	12,02		B	9,60	11,98	14,39	16,80
	C	7,63	9,54	11,45	13,34		C	10,66	13,33	16,00	18,65
	D	8,13	10,17	12,21	14,25		D	11,36	14,21	17,06	19,91
	E	9,16	11,45	13,72	16,01		E	12,80	16,00	19,18	22,38
4	A	7,40	9,24	11,09	12,94	4	A	10,34	12,92	15,51	18,09
	B	9,98	12,48	14,98	17,48		B	13,95	17,44	20,94	24,43
	C	11,09	13,87	16,64	19,41		C	15,51	19,38	23,26	27,13
	D	11,83	14,79	17,75	20,72		D	16,53	20,67	24,81	28,96
	E	13,32	16,64	19,96	23,30		E	18,62	23,26	27,90	32,57

**Tableau 10 - Nombre de connecteurs TM 90°- sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacoffré® : Isolant 14 cm, paroi extérieure 6 cm.**

Nota : le tableau ci-dessus affiche les densités théoriques des connecteurs droits TM 90°. Lorsque la densité des connecteurs TM 90° devient très importante (>6,25 connecteur/m<sup>2</sup>), il est possible de limiter la densité des connecteurs TM 90° à 6.25 connecteur/m<sup>2</sup> et d'intégrer deux files (verticales) de connecteurs TM 45° orientés horizontalement respectivement vers la droite et la gauche de façon à reprendre les sollicitations sismiques horizontales quelques soit leur sens.

Eventuels connecteurs horizontaux sur la ligne verticale (en remplacement des connecteurs droits si leur densité est > 6.25 c connecteurs/m <sup>2</sup> )											
Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]						Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]					
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	0,14	0,18	0,22	0,25	2	A	0,15	0,19	0,23	0,27
	B	0,19	0,24	0,29	0,34		B	0,21	0,26	0,31	0,36
	C	0,22	0,27	0,32	0,38		C	0,23	0,29	0,34	0,40
	D	0,23	0,29	0,35	0,40		D	0,24	0,30	0,37	0,43
	E	0,26	0,32	0,39	0,45		E	0,27	0,34	0,41	0,48
3	A	0,23	0,28	0,34	0,40	3	A	0,24	0,30	0,36	0,42
	B	0,31	0,38	0,46	0,54		B	0,32	0,40	0,49	0,57
	C	0,34	0,42	0,51	0,59		C	0,36	0,45	0,54	0,63
	D	0,36	0,45	0,54	0,63		D	0,38	0,48	0,58	0,67
	E	0,41	0,51	0,61	0,71		E	0,43	0,54	0,65	0,75
4	A	0,33	0,41	0,49	0,58	4	A	0,35	0,44	0,52	0,61
	B	0,44	0,56	0,67	0,78		B	0,47	0,59	0,71	0,82
	C	0,49	0,62	0,74	0,86		C	0,52	0,65	0,78	0,91
	D	0,53	0,66	0,79	0,92		D	0,56	0,70	0,84	0,98
	E	0,59	0,74	0,89	1,04		E	0,63	0,78	0,94	1,10

**Tableau 11 - Nombre de connecteurs TM 45° - 2 lignes verticales de direction opposée, sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacofré® : Isolant 14 cm, paroi ext. 6 cm.**

## 2.17.2.2. Cas du Thermacoffré® avec une paroi extérieure de 6 cm et un isolant de 16 cm d'épaisseur

Caractéristiques du système			
<b>Données géométriques</b>			
$e_i$	16	cm	<i>Épaisseur de la lame isolante</i>
$e_{vd}$	6	cm	<i>Épaisseur du voile librement dilatable</i>
$j$	1.5	cm	<i>Jeu nominal entre voiles</i>
$\Delta_{fab}$	0.5	cm	<i>Tolérance de fabrication</i>
$\Delta_{pose}$	0.0	cm	<i>Tolérance de pose <sup>(1)</sup></i>
$j_{min}$	1	cm	<i>Jeu toutes tolérances épuisées</i>
$u_{lim}$	0.75	cm	<i>Déplacement limite du voile</i>
<b>Caractéristiques mécaniques</b>			
$K_{T90}$	500	kN/m	<i>Raideur en traction des connecteurs TM90</i>
$K_{T45}$	354	kN/m	<i>Raideur en traction des connecteurs TM45</i>
$K_{C90}$	9.1	kN/m	<i>Raideur en cisaillement des connecteurs TM90</i>
$K_{C45}$	3.2	kN/m	<i>Raideur en cisaillement des connecteurs TM45</i>
$V_{Rk,90}$	0.38	kN	<i>Résistance caractéristique au cisaillement des connecteurs TM90</i>
$V_{Rk,45}$	0.27	kN	<i>Résistance caractéristique au cisaillement des connecteurs TM45</i>
$N_{Rk}$	13.6	kN	<i>Résistance caractéristique à la traction des connecteurs</i>
$V_{Rd90,stat}$	0.16	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM90 à l'<b>ELU statique</b></i>
$V_{Rd45,stat}$	0.11	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM45 à l'<b>ELU statique</b></i>
$N_{Rd,stat}$	5.67	kN	<i>Résistance à la traction des connecteurs à l'<b>ELU statique</b></i>
$V_{Rd90,dyn}$	0.13	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM90 à l'<b>ELU dynamique</b></i>
$V_{Rd45,dyn}$	0.09	kN	<i>Résistance au cisaillement des connecteurs TM45 à l'<b>ELU dynamique</b></i>
$N_{Rd,dyn}$	4.53	kN	<i>Résistance à la traction des connecteurs à l'<b>ELU dynamique</b></i>
<b>Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU standard</b>		connecteurs/m <sup>2</sup>	0,51

**Tableau 12 - Hypothèses de calcul des connecteurs pour un Thermacoffré® avec isolant 16 cm, paroi extérieure 6 cm**

Connecteurs à 45° orientés verticalement vers le bas répartis suivant une ligne horizontale située environ à mi-hauteur											
Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]						Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]					
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	0,58	0,61	0,64	0,67	2	A	0,14	0,17	0,21	0,24
	B	0,62	0,66	0,70	0,74		B	0,19	0,24	0,28	0,33
	C	0,64	0,68	0,73	0,77		C	0,21	0,26	0,31	0,37
	D	0,65	0,70	0,74	0,79		D	0,22	0,28	0,33	0,39
	E	0,68	0,73	0,78	0,83		E	0,25	0,31	0,38	0,44
3	A	0,65	0,69	0,74	0,79	3	A	0,22	0,27	0,33	0,38
	B	0,71	0,77	0,83	0,90		B	0,30	0,37	0,44	0,52
	C	0,74	0,81	0,88	0,94		C	0,33	0,41	0,49	0,57
	D	0,76	0,83	0,90	0,98		D	0,35	0,44	0,53	0,61
	E	0,79	0,88	0,96	1,04		E	0,39	0,49	0,59	0,69
4	A	0,73	0,80	0,86	0,93	4	A	0,32	0,40	0,48	0,56
	B	0,82	0,91	1,00	1,09		B	0,43	0,54	0,65	0,75
	C	0,86	0,96	1,06	1,16		C	0,48	0,60	0,72	0,84
	D	0,89	1,00	1,10	1,21		D	0,51	0,64	0,76	0,89
	E	0,94	1,06	1,18	1,30		E	0,57	0,72	0,86	1,00

**Tableau 13 - Nombre de connecteurs TM 45°- ligne horizontale, sollicitations verticales - Hypothèses Thermacoffré® : Isolant 16 cm, paroi extérieure. 6 cm.**

Densité minimale des connecteurs droits à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]					Densité minimale des connecteurs droits à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]						
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	3,70	4,63	5,55	6,48	2	A	6,75	8,46	10,13	11,84
	B	4,99	6,24	7,49	8,74		B	9,12	11,40	13,68	15,96
	C	5,55	6,94	8,33	9,70		C	10,13	12,67	15,21	17,71
	D	5,91	7,39	8,88	10,35		D	10,78	13,50	16,22	18,89
	E	6,65	8,33	9,99	11,64		E	12,14	15,21	18,24	21,26
3	A	5,81	7,27	8,72	10,18	3	A	10,61	13,28	15,91	18,59
	B	7,85	9,80	11,76	13,73		B	14,33	17,88	21,48	25,07
	C	8,72	10,90	13,08	15,25		C	15,91	19,90	23,89	27,84
	D	9,29	11,62	13,95	16,28		D	16,96	21,22	25,47	29,72
	E	10,47	13,08	15,68	18,29		E	19,11	23,89	28,62	33,40
4	A	8,45	10,56	12,68	14,79	4	A	15,43	19,29	23,15	27,00
	B	11,40	14,26	17,12	19,98		B	20,82	26,04	31,25	36,47
	C	12,68	15,85	19,02	22,18		C	23,15	28,93	34,72	40,50
	D	13,52	16,90	20,29	23,67		D	24,68	30,86	37,04	43,22
	E	15,22	19,02	22,81	26,63		E	27,79	34,72	41,64	48,61

**Tableau 14 - Nombre de connecteurs TM 90° - sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacofré® : Isolant 16 cm, paroi extérieure 6 cm.**

Nota : le tableau ci-dessus affiche les densités théoriques des connecteurs droits TM 90°. Lorsque la densité des connecteurs TM 90° devient très importante (>6,25 connecteur/m<sup>2</sup>), il est possible de limiter la densité des connecteurs TM 90° à 6,25 connecteurs/m<sup>2</sup> et d'intégrer deux files (verticales) de connecteurs TM 45° orientés horizontalement respectivement vers la droite et la gauche de façon à reprendre les sollicitations sismiques horizontales quelques soit leur sens.

Eventuels connecteurs horizontaux sur la ligne verticale (en remplacement des connecteurs droits si leur densité est > 6,25 connecteurs/m <sup>2</sup> )											
Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de résistance [connecteurs/m <sup>2</sup> ]				Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU accidentel sismique - condition de déplacement du voile librement dilatable [connecteurs/m <sup>2</sup> ]							
Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment				Zone de sismicité	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV			I	II	III	IV
2	A	0,14	0,18	0,22	0,25	2	A	0,17	0,22	0,26	0,31
	B	0,19	0,24	0,29	0,34		B	0,24	0,29	0,35	0,41
	C	0,22	0,27	0,32	0,38		C	0,26	0,33	0,39	0,46
	D	0,23	0,29	0,35	0,40		D	0,28	0,35	0,42	0,49
	E	0,26	0,32	0,39	0,45		E	0,31	0,39	0,47	0,55
3	A	0,23	0,28	0,34	0,40	3	A	0,27	0,34	0,41	0,48
	B	0,31	0,38	0,46	0,54		B	0,37	0,46	0,55	0,65
	C	0,34	0,42	0,51	0,59		C	0,41	0,51	0,62	0,72
	D	0,36	0,45	0,54	0,63		D	0,44	0,55	0,66	0,77
	E	0,41	0,51	0,61	0,71		E	0,49	0,62	0,74	0,86
4	A	0,33	0,41	0,49	0,58	4	A	0,40	0,50	0,60	0,70
	B	0,44	0,56	0,67	0,78		B	0,54	0,67	0,81	0,94
	C	0,49	0,62	0,74	0,86		C	0,60	0,75	0,90	1,05
	D	0,53	0,66	0,79	0,92		D	0,64	0,80	0,96	1,12
	E	0,59	0,74	0,89	1,04		E	0,72	0,90	1,07	1,25

**Tableau 15 - Nombre de connecteurs TM 45° - 2 lignes verticales de direction opposée, sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacofré® : Isolant 16 cm, paroi ext. 6 cm.**

Les tableaux ci-dessus ont été établis à partir d'une feuille de calcul qui servira à calculer le nombre de connecteurs pour d'autres hypothèses d'épaisseurs d'isolant et de paroi extérieure

## 2.18. Annexe 8 : Détermination de la température dans les MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT (conformément à l'Appréciation de Laboratoire du CSTB n° AL 16-198\_V3)

Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – hypothèses de calcul Eurocodes.																
Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	897	785	686	524	311	189	129	103	94						
	15	897	784	685	523	308	183	120	84	63	52					
	18	897	784	685	523	308	182	118	82	58	38	33				
	20	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	28	26			
	23	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	22		
	25	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	21	21	
	30	897	784	685	523	308	182	118	81	57	36	26	23	21	20	20

**Tableau 16- Température dans les MCII Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT pour une exposition de 60 minutes**

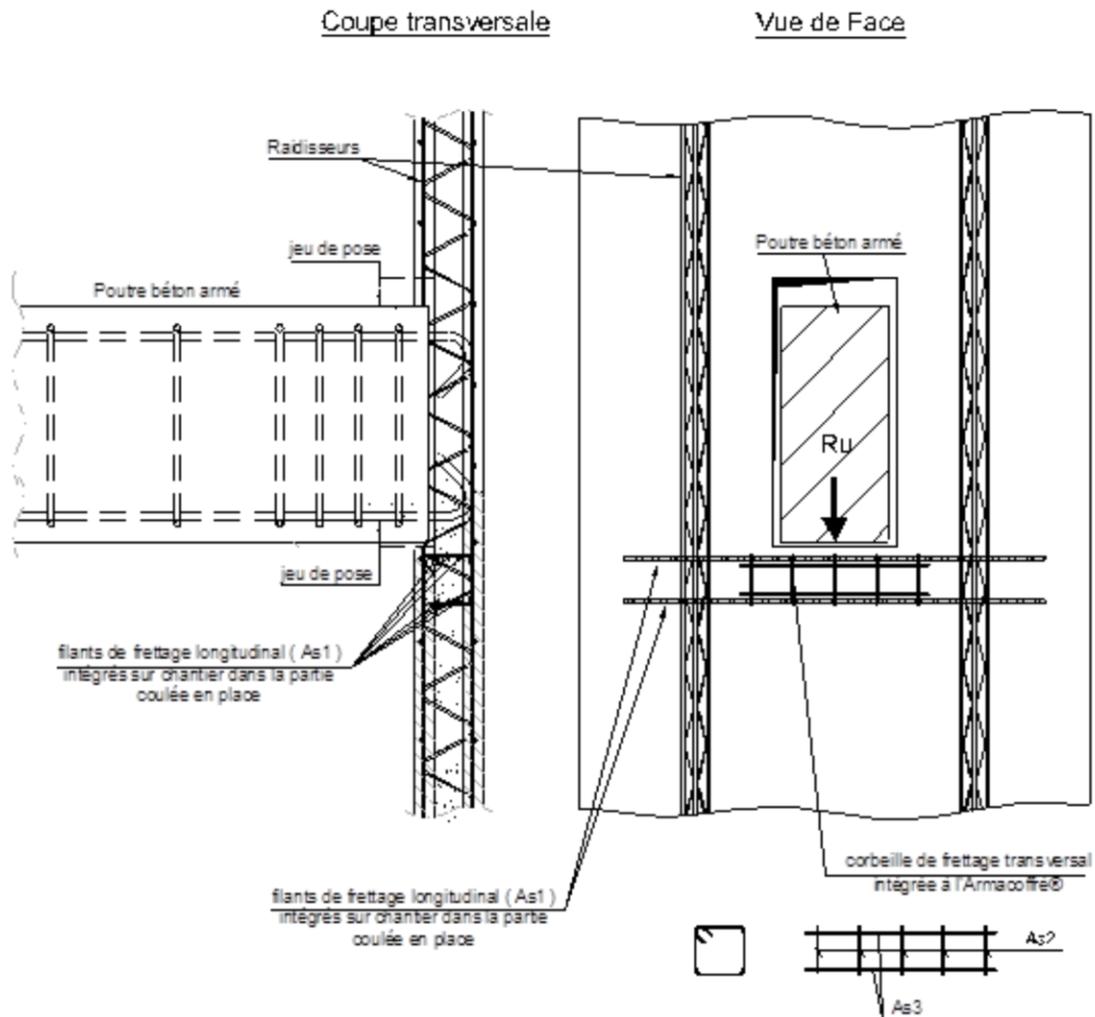
Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – hypothèses de calcul Eurocodes.																
Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	971	873	783	630	415	283	205	165	154						
	15	971	871	780	626	406	267	179	132	108	95					
	18	971	871	780	625	404	264	173	123	93	67	58				
	20	971	871	780	625	404	263	172	122	91	61	46	44			
	23	971	871	780	625	404	263	171	121	90	58	40	34	31		
	25	971	871	780	625	404	263	171	121	89	58	40	32	27	26	
	30	971	871	780	625	404	263	171	121	89	58	39	32	25	23	21

**Tableau 17- Température dans les MCII Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT pour une exposition de 90 minutes**

Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – hypothèses de calcul Eurocodes.																
Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	1022	933	851	708	496	360	276	230	215						
	15	1021	931	847	700	482	337	243	183	150	138					
	18	1021	930	846	698	477	330	230	163	128	99	90				
	20	1021	930	845	698	477	328	228	159	122	88	71	67			
	23	1021	930	845	697	476	328	226	156	119	82	59	50	46		
	25	1021	930	845	697	476	328	226	156	118	80	56	46	38	36	
	30	1021	930	845	697	476	328	226	156	118	80	55	44	33	29	25

**Tableau 18- Température dans les MCI Thermacoffré® et Thermacoffré® CPT pour une exposition de 120 minutes**

## 2.19. Annexe 9 : Justification des renforts des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT » sous appui ponctuel de poutres



La poutre sera positionnée avec un jeu de pose muni d'un joint souple en sous-face pour éviter de charger uniquement la paroi

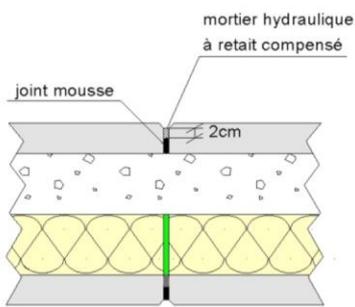
### Données:

Ru : Réaction d'appui pondérée ELU  
 fe : Limite élastique de l'acier  
 ys : coef. de sécurité pour l'acier = 1.15 à l'ELU  
 k : coef. géométrique = 1.00 pour une réservation en rive de mur  
 = 1.50 pour une réservation au centre du mur

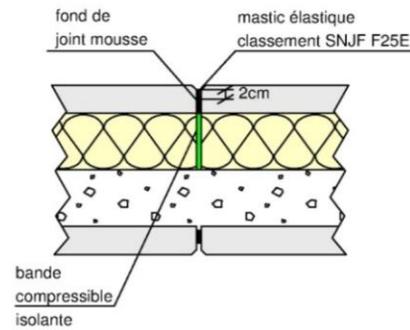
$$As1 = As2 = \frac{0.25 \times Ru}{k \times fe / ys} + \frac{0.04 \times Ru}{fe / ys}$$

As3 = Armature de construction

## 2.20. Annexe 10 : Traitement de l'étanchéité entre MCII

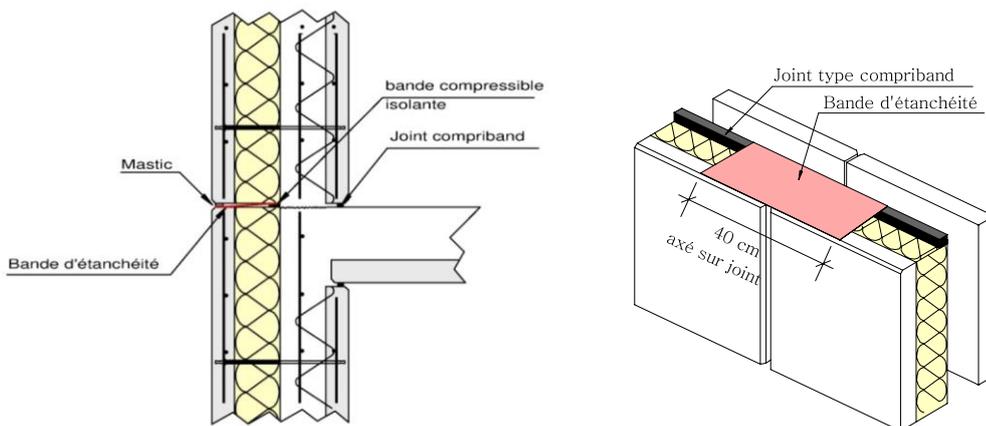


**Figure 63 - Traitement du joint intérieur entre MCII**

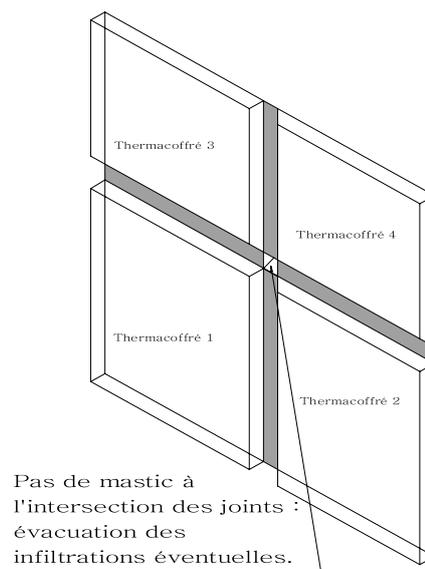


**Figure 64 - Traitement du joint extérieur entre MCII**

L'étanchéité à l'air et l'écoulement de laitance de béton entre deux plaques d'isolant au droit du joint est assurée par une bande isolante compressible ou un compribande mis en œuvre sur la tranche de l'isolant à l'avancement de la pose des procédés « Thermacofré® » et « Thermacofré® CPT ».

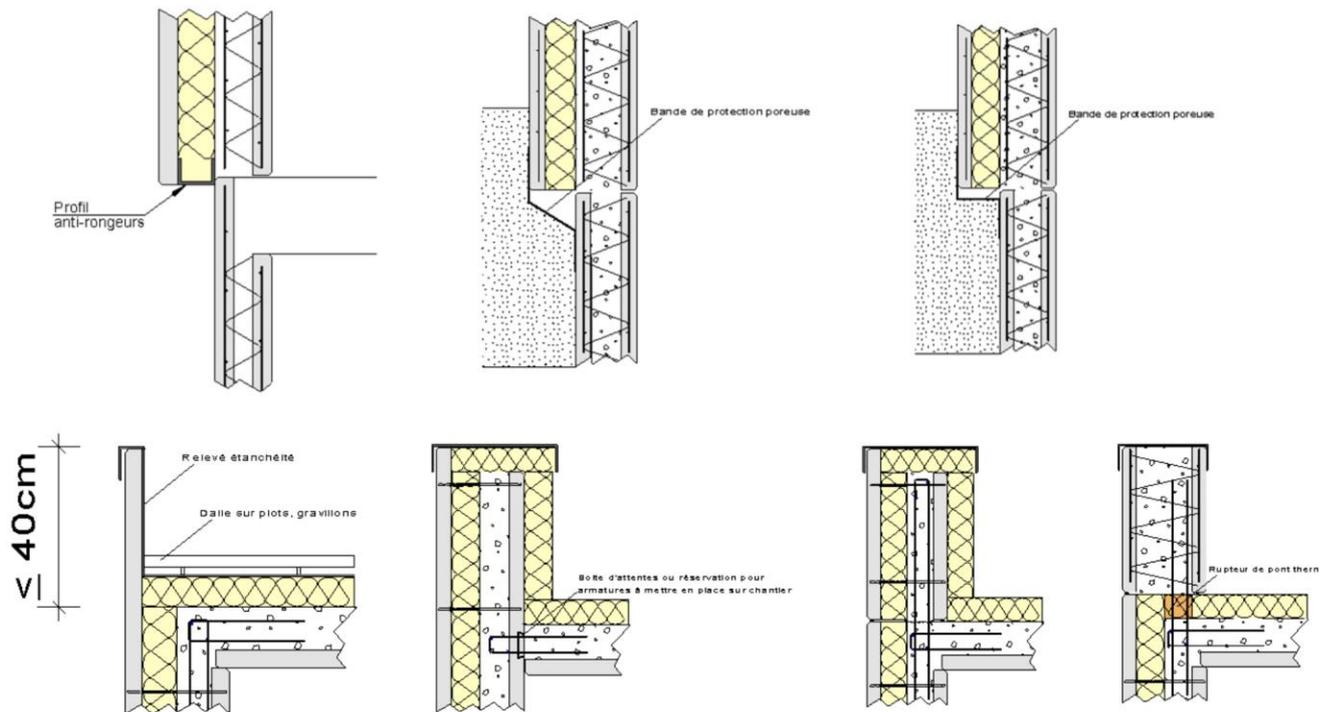


**Figure 65 - Traitement des joints verticaux et horizontaux**



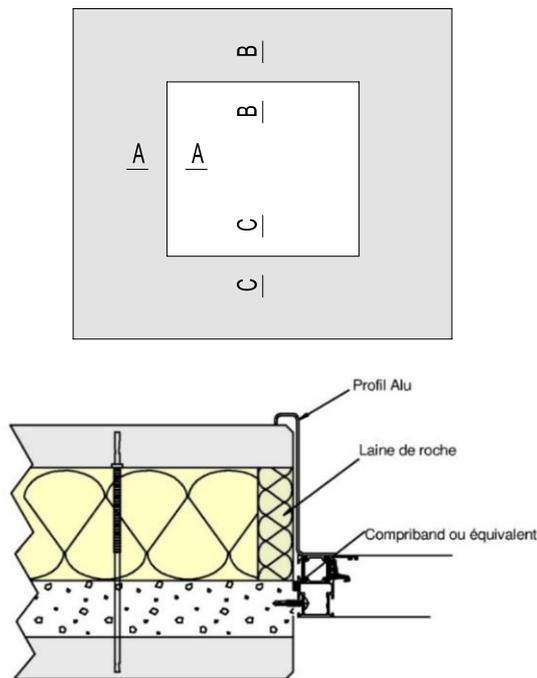
**Figure 66 - Traitement de l'intersection de MCII accolés superposés.**

## 2.21. Annexe 11 : Traitement des pieds et têtes de MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

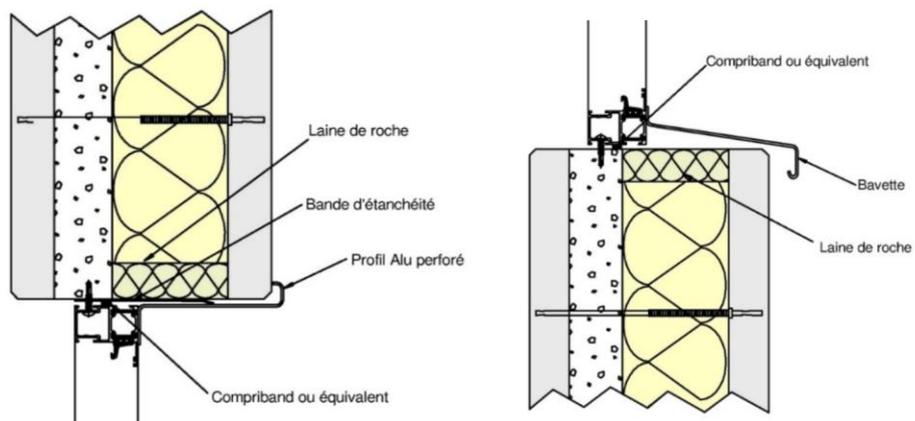


## 2.22. Annexe 12 : Traitement des baies

### 2.22.1. Menuiseries posées en tableau

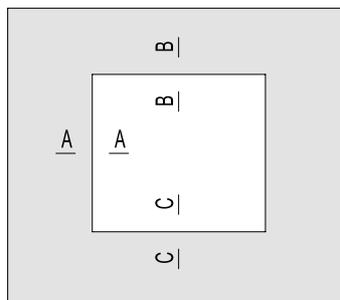


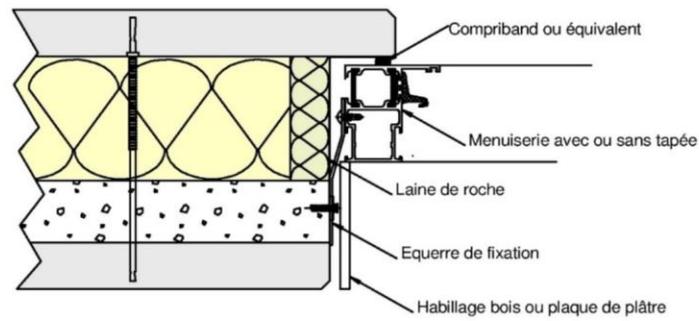
**Figure 67 - Menuiseries posées en tableau coupe AA (horizontale)**



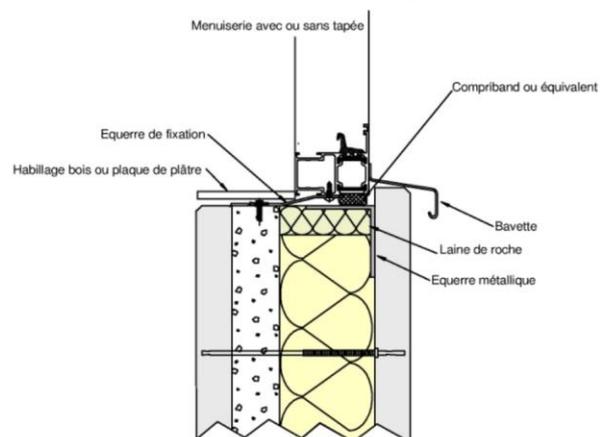
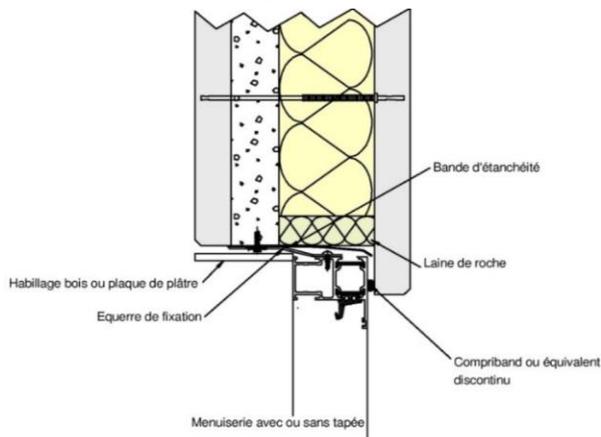
**Figure 68 - Menuiseries posées en tableau coupe BB (linteau) Figure 69 - Menuiseries posées en applique coupe CC (allège)**

### 2.22.2. Menuiseries posées en applique



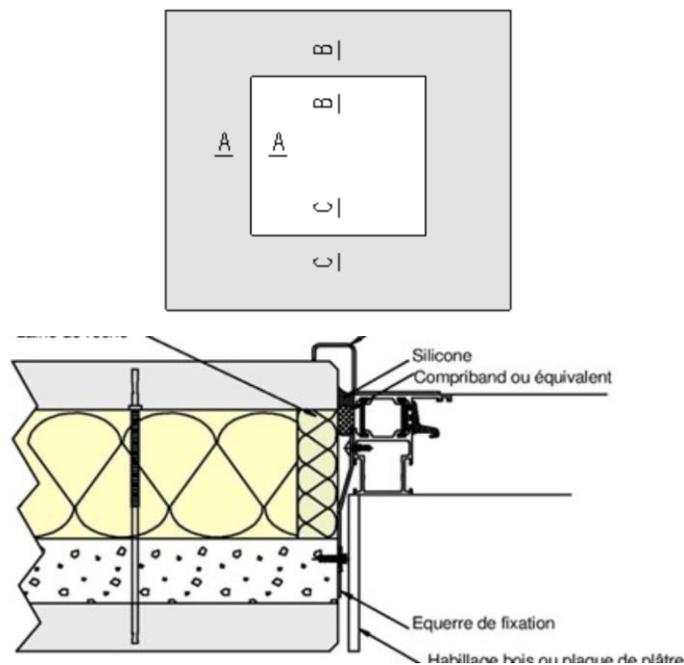


**Figure 70 - Menuiseries posées en applique coupe AA (horizontale)**

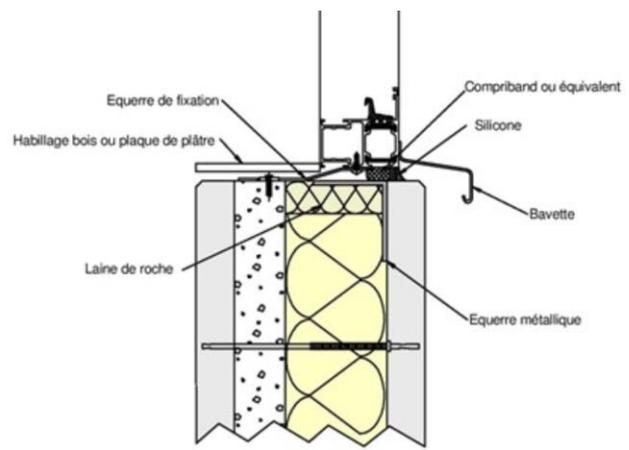
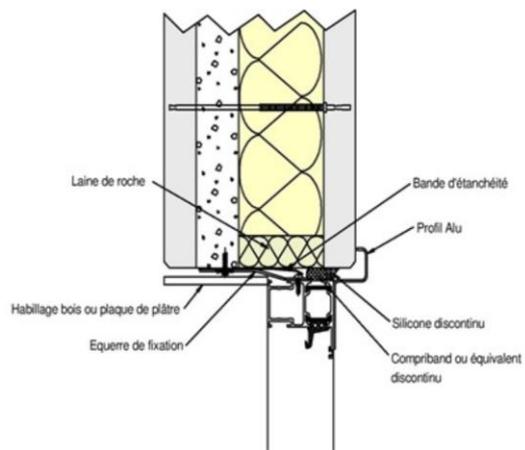


**Figure 71 - Menuiseries posées en applique coupe BB (linteau) Figure 72 - Menuiseries posées en applique coupe CC (allège)**

### 2.22.3. Menuiseries posées en tunnel



**Figure 73 - Menuiseries posées en tunnel coupe AA (horizontale)**



**Figure 74 - Menuiseries posées en tunnel coupe BB (linteau)** **Figure 75 - Menuiseries posées en tunnel coupe CC (allège)**

## 2.23. Annexe 13 : Dispositions constructives générales

### 2.23.1. Vue générale d'un MCII

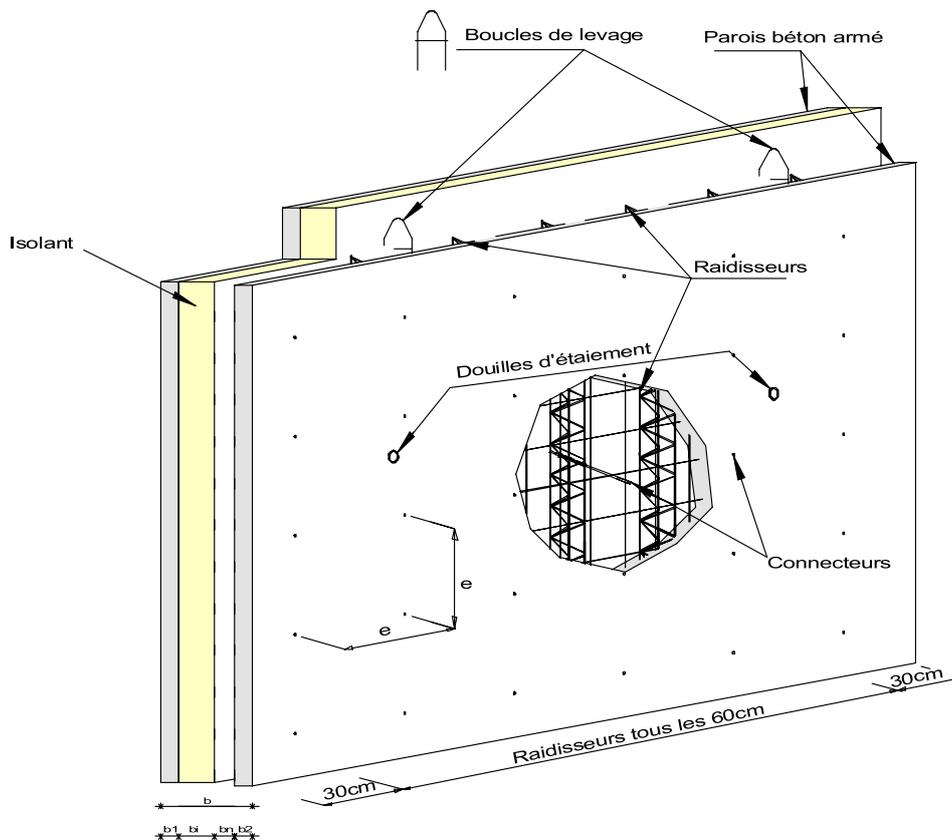


Figure 76 - Vue générale d'un MCII

$e$  : espacement des connecteurs  $\leq 50$  cm

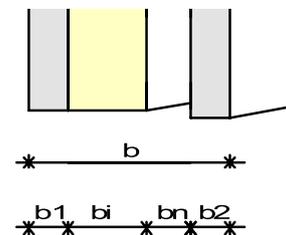
$b$  : épaisseur totale du MCII

$b_1$  : épaisseur de la paroi extérieure

$b_i$  : épaisseur de l'isolant

$b_n$  : épaisseur du noyau coulé en place

$b_2$  : épaisseur de la paroi extérieure



### 2.23.2. Principe d'armature des « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »

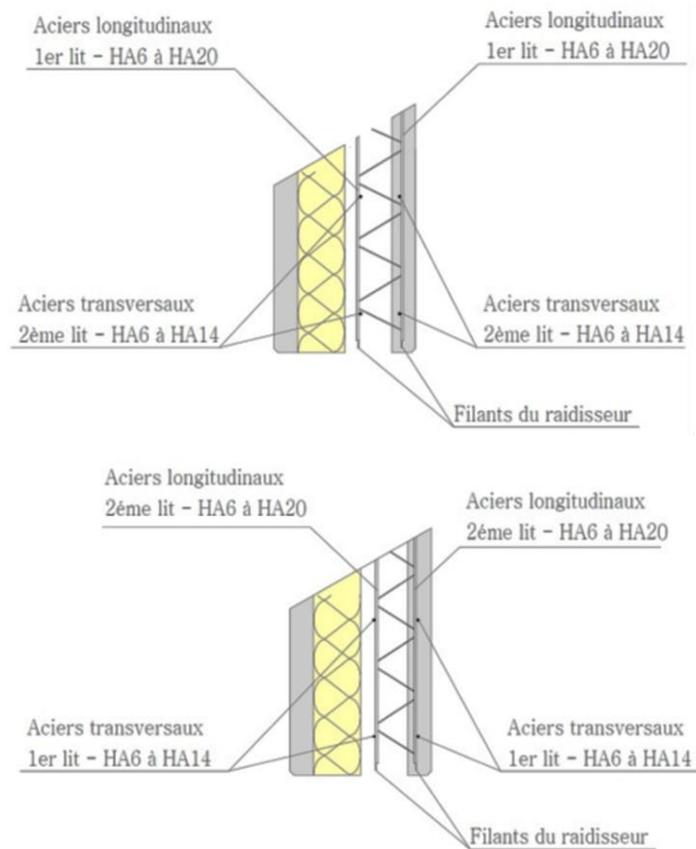


Figure 77 - Armatures longitudinales en 1er lit    Figure 78 - Armatures transversales en 1er lit

### 2.23.3. Douilles d'étaieiment

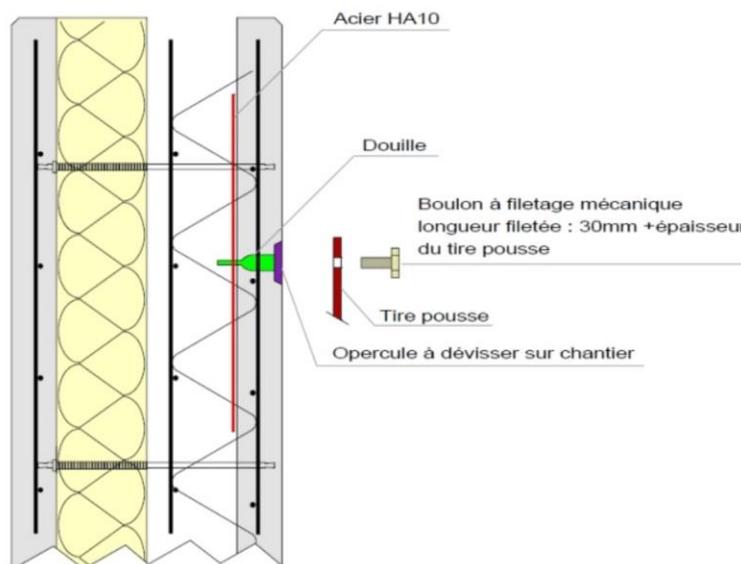
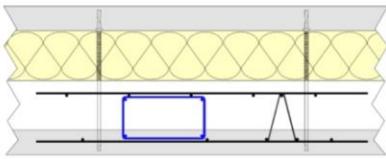
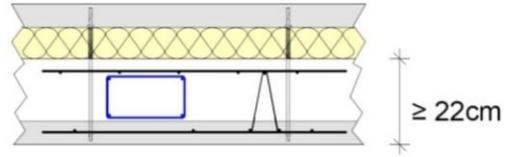


Figure 79 - Détail douille d'étaieiment

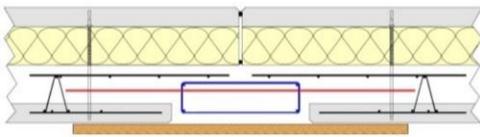
### 2.23.4. Incorporation de poteaux aux MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »



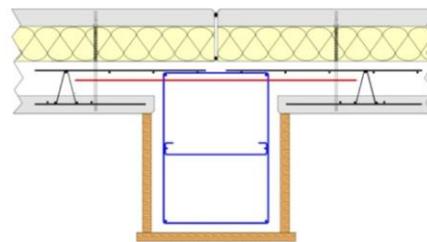
**Figure 80 - Poteau intégré aux MCII**



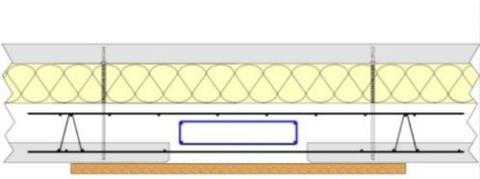
**Figure 81 - Poteau mis en œuvre dans l'épaisseur du noyau coulé en place**



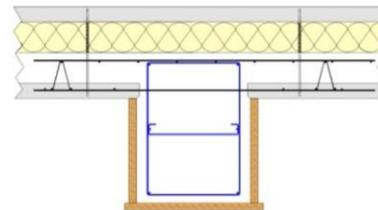
**Figure 82 - Poteau coulé en place au droit d'un joint vertical**



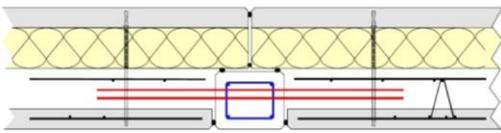
**Figure 83 - Poteau excentré coulé en place au droit d'un joint vertical**



**Figure 84 - Poteau excentré coulé en place en partie courante**

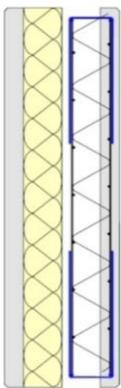


**Figure 85 - Poteau excentré coulé en place en partie courante**

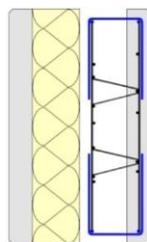


**Figure 86 - Poteau préfabriqué broché**

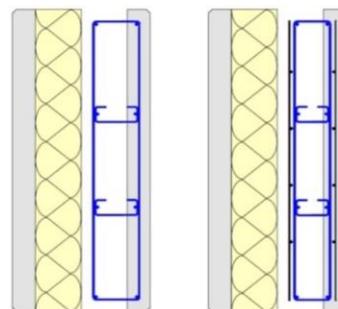
### 2.23.5. Principe d'armature des poutres ou longrines réalisées avec des MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »



**Figure 87 - Longrine  $h > 80$  cm, (raisseurs verticaux)**

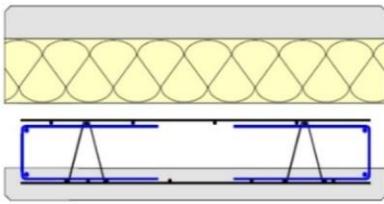


**Figure 88 - Longrine  $h < 80$  cm, (raisseurs horizontaux)**

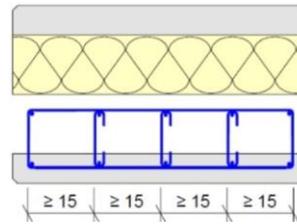


**Figure 89 - Longrine réalisée avec des corbeilles**

### 2.23.6. Principe d'armature de poteaux réalisés à partir de MCII « Thermacoffré® » et « Thermacoffré® CPT »



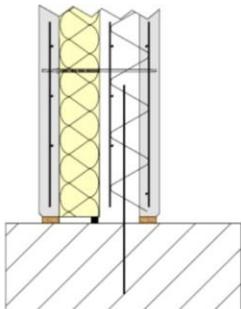
**Figure 90 - Armature de poteau réalisée avec des raidisseurs et U**



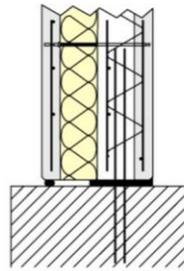
**Figure 91 - Armature de poteau réalisée avec des cadres filants et épingles**

### 2.23.7. Liaisons en pied du MCII

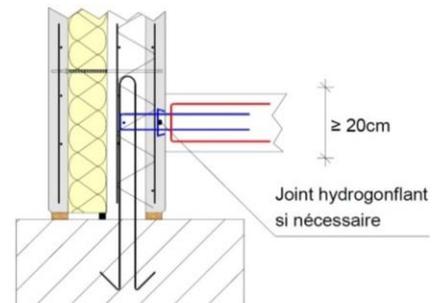
#### 2.23.7.1. Liaisons en pied articulées



**Figure 92 - 1 file d'armatures en attente**

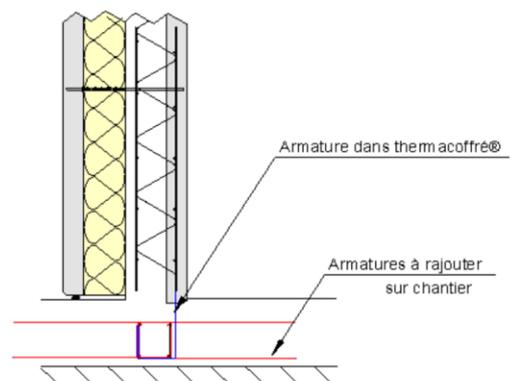
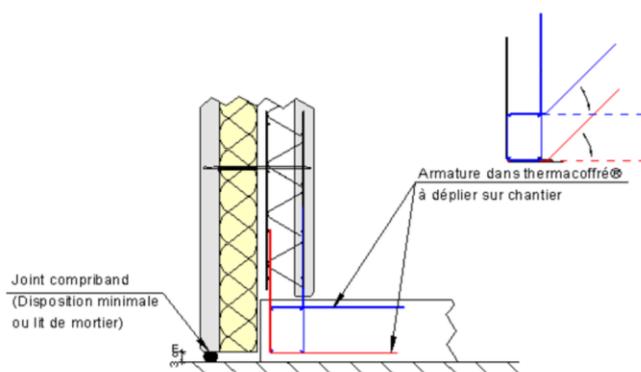


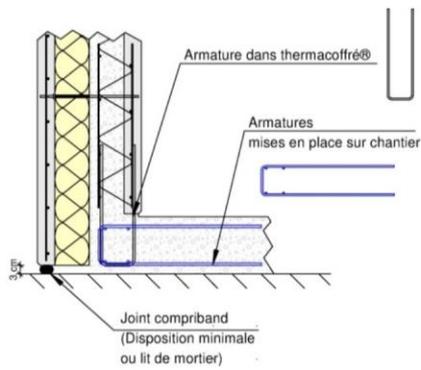
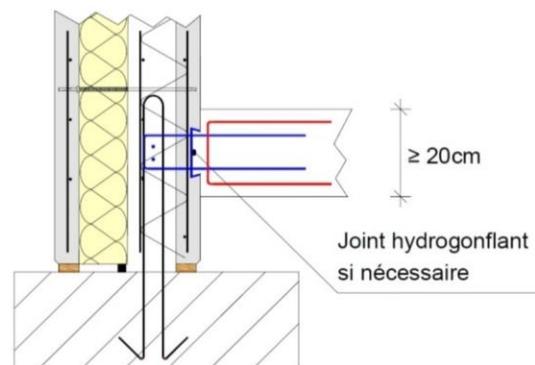
**Figure 93 2 files d'armatures en attente**



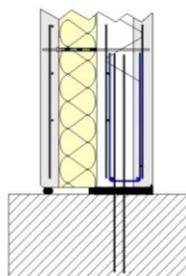
**Figure 94 Liaison couturée avec plancher bas (boîte d'attente ou réservation horizontale pour attentes posées sur chantier)**

#### 2.23.7.2. Liaisons encastrées en pied de type A, le MCII est posé sur le béton de propreté avant réalisation du radier ou plancher



**Figure 95 - Liaison encastrée de type A1****Figure 97 - Liaison encastrée de type A4****Figure 96 - Liaison encastrée de type A3****Figure 98 - Liaison encastrée avec plancher bas**

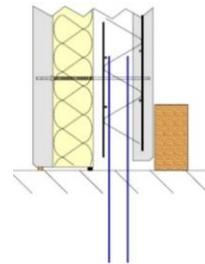
Liaisons encastrées en pied de type B, le MCII est posé sur



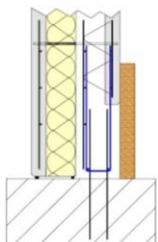
fondations ou radiateur

**Figure 99 - Liaison B1**

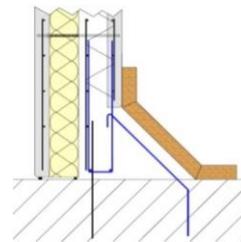
**Pose sur lit de mortier**

**Figure 100 - Liaison B1'**

Calage > 30 mm

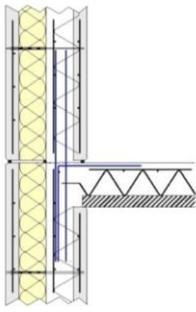
**Figure 101 - Liaison B3**

Prévoir des « pieds béton » sur la paroi intérieure

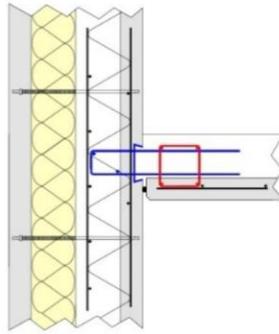
**Figure 102 - Liaison B4**

## 2.23.8. Liaisons entre MCII et plancher

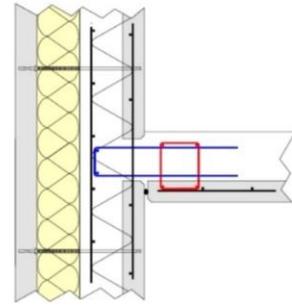
### 2.23.8.1. Liaisons articulées entre MCII et plancher



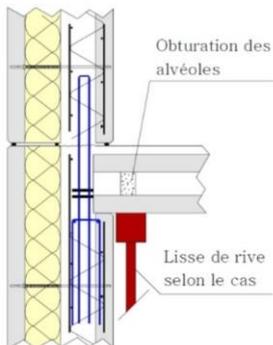
**Figure 103 - Appui de rive articulé avec ou sans niveau supérieur**



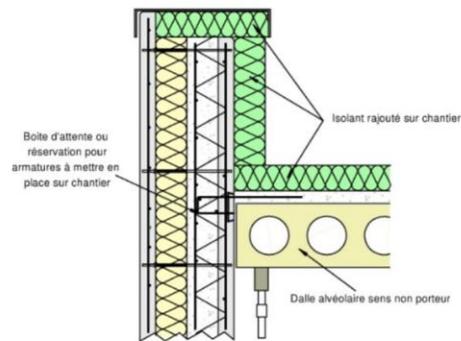
**Figure 104 - Plancher suspendu avec boîte d'attentes**



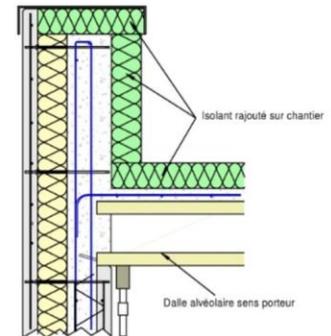
**Figure 105 - Plancher suspendu avec attentes posées sur chantier**



**Figure 106 - Dalle alvéolaire en appui de rive avec ou sans niveau supérieur**

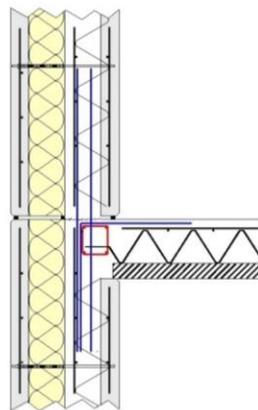


**Figure 107 - Dalle alvéolaire avec acrotère - Sens non porteur**



**Figure 108 - Dalle alvéolaire avec acrotère - Sens porteur**

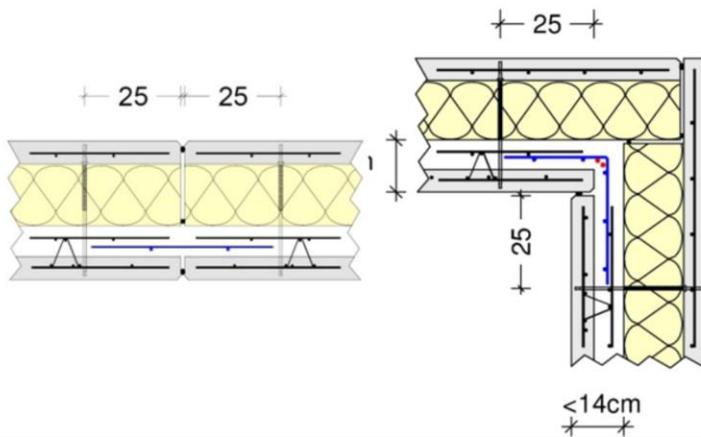
#### 2.23.8.2. Liaisons encastrées entre MCII et plancher



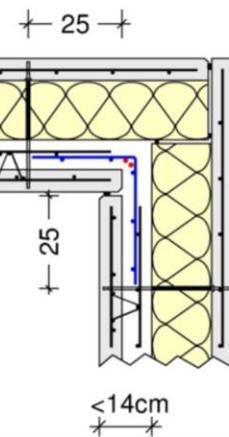
**Figure 109 - Appui de rive encastré avec ou sans niveau supérieur**

## 2.23.9. Liaisons verticales

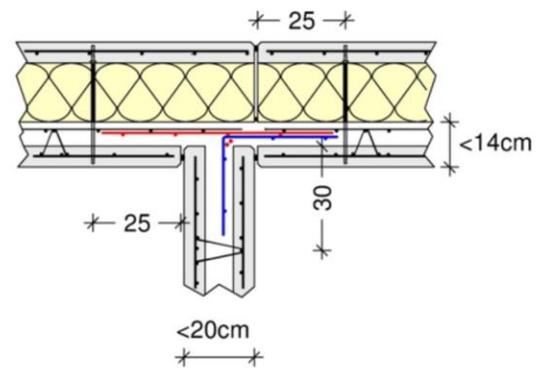
### 2.23.9.1. Liaisons verticales 1 nappe de treillis



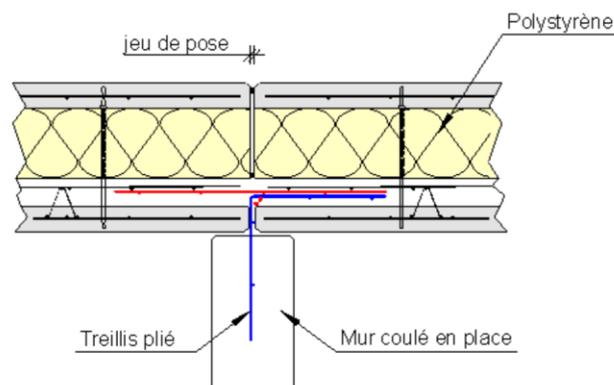
**Figure 110 - Liaison verticale droite simple**



**Figure 111 - Liaison verticale d'angle simple**

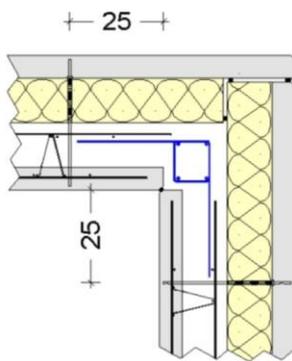


**Figure 112 - Liaison verticale en T simple**

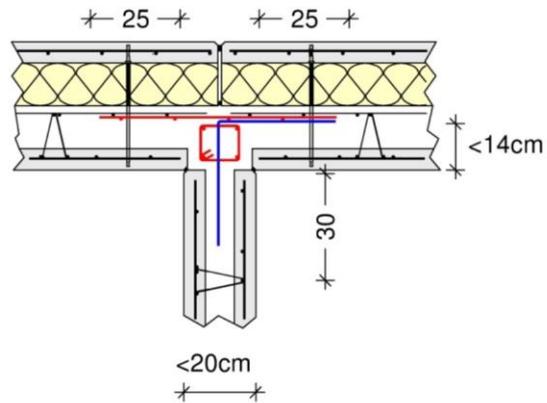


**Figure 113 - Liaison verticale en T simple avec voile coulé en place**

## 2.23.9.2. Liaisons verticales 1 nappe de treillis avec chaînage

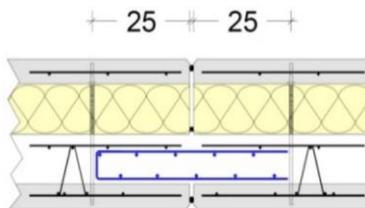


**Figure 114 - Liaison verticale d'angle simple avec chaînage**

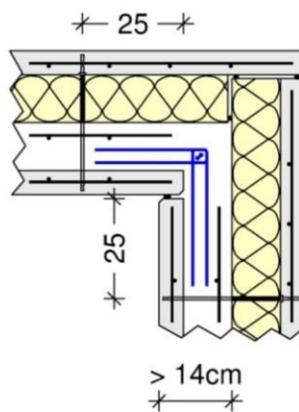


**Figure 115 - Liaison verticale en T simple avec chaînage**

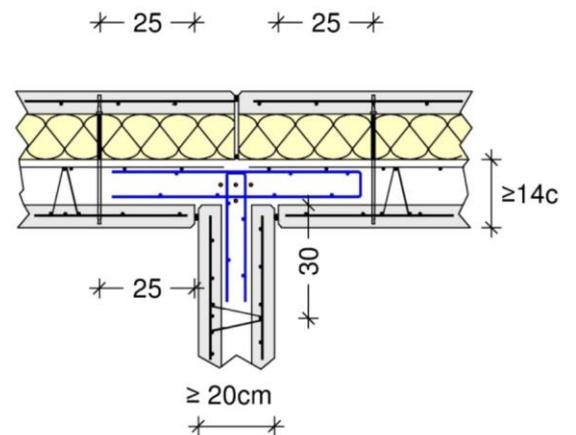
## 2.23.9.3. Liaisons verticales courantes



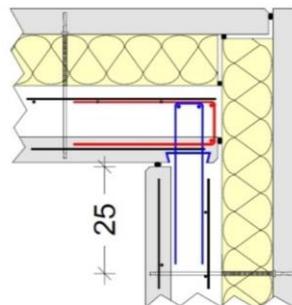
**Figure 116 - Liaison verticale droite double**



**Figure 117 - Liaison d'angle double**

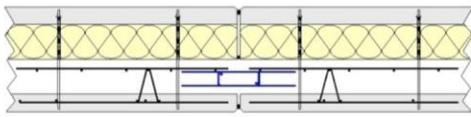


**Figure 118 - Liaison en T double**

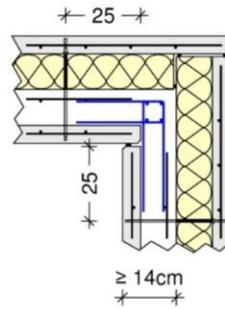


**Figure 119 - Liaison d'angle double avec planche d'attente**

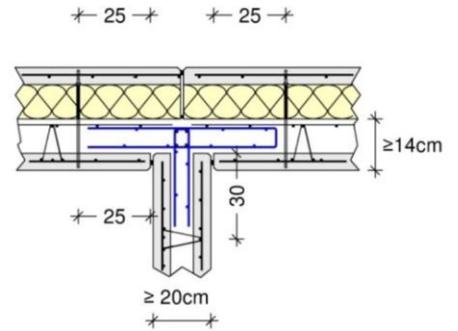
## 2.23.9.4. Liaisons verticales courantes avec chaînage



**Figure 120- Liaison verticale droite double avec chaînage**

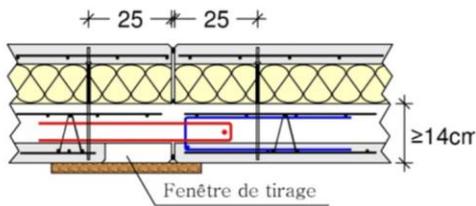


**Figure 121 - Liaison verticale d'angle double avec chaînage**

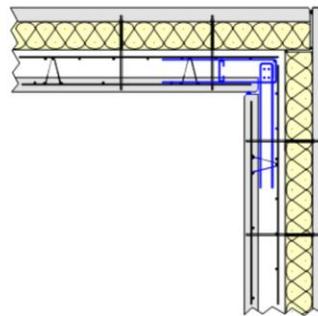


**Figure 122 - Liaison verticale en T double avec chaînage**

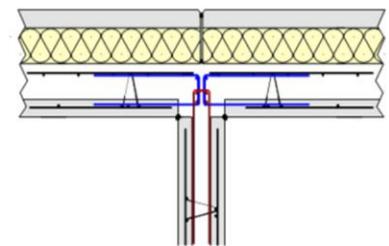
## 2.23.9.5. Liaisons verticales couturées



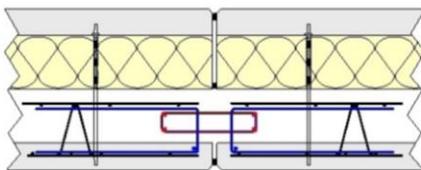
**Figure 123 - Liaison verticale droite couturée**



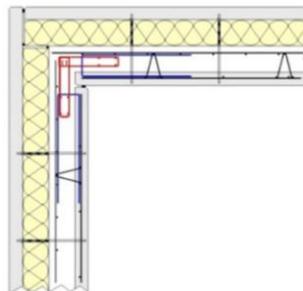
**Figure 124 - Liaison verticale d'angle couturée**



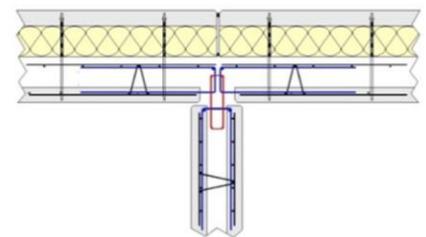
**Figure 125 - Liaison verticale d'angle couturée**



**Figure 126 - Liaison verticale droite couturée avec chaînage C1**

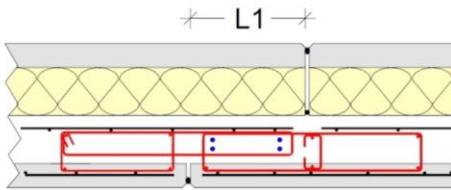


**Figure 127 - Liaison verticale d'angle couturée avec chaînage C2**



**Figure 128 - Liaison verticale en T couturée avec chaînage C3**

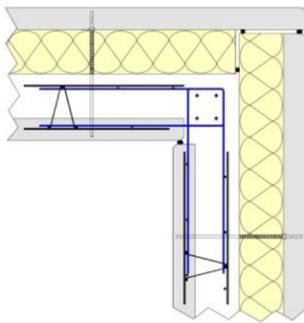
## 2.23.9.6. Liaisons verticale encastrées



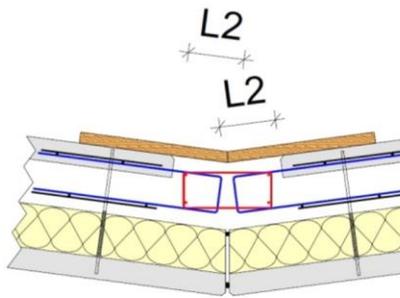
**Figure 129 - Liaison encastrée E1**

**Cette solution n'est pas compatible avec des armatures en attente du support. Le MCII doit être posé avant la réalisation de la fondation ou du radier**

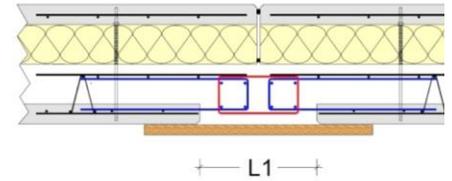
$$L_1 = 16\varnothing + 7 \text{ cm}$$



**Figure 131 - Cette solution n'est pas compatible avec des armatures en attente. Les MCII doivent être posés avant la réalisation de la fondation ou du radier E3**



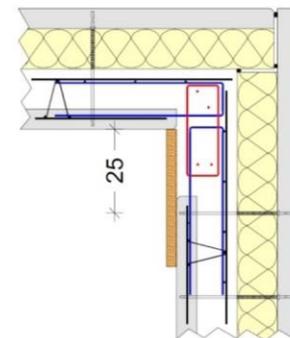
**Figure 132 - Angles > à 165°**  
 $L_2 = 32\varnothing + 7 \text{ cm}$



**Figure 130 - Liaison encastrée E2**

**Coffrage de la liaison sur chantier**

$$L_1 = 32\varnothing + 7 \text{ cm}$$



**Figure 133 - Coffrage de la paroi intérieure E4**

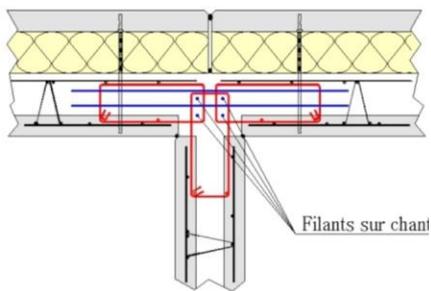


Figure 134 - E5

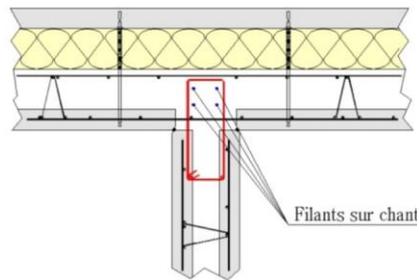


Figure 135 - E6

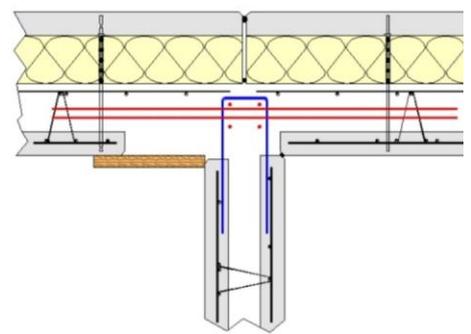
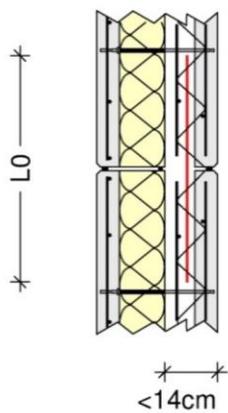
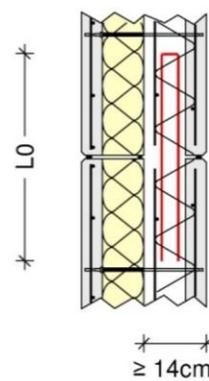


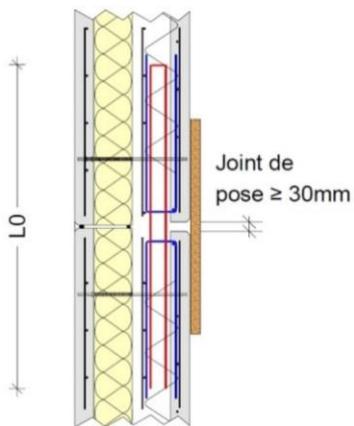
Figure 136 - E7

## 2.23.10. Liaisons horizontales entre deux MCII

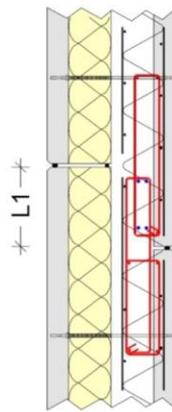
### 2.23.10.1. Liaisons horizontales articulées entre deux MCII

Figure 137 -  $L_0 = 2l_s + 15\text{ cm}$ Figure 138 -  $L_0 = 2l_s + 15\text{ cm}$ 

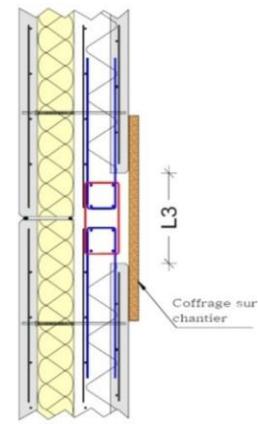
### 2.23.10.2. Liaisons horizontales encastrées entre deux MCII



**Figure 139 - E8 : Jeu de pose  $\geq 30$  mm**  
 $L_0 = 2l_s + 15$  cm



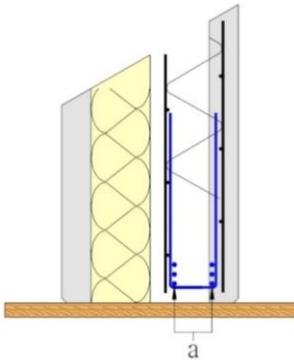
**Figure 140 - E9 :**  $L_1 = 16 \varnothing + 7$  cm



**Figure 141 - E10 :**  
 $L_3 = 32 \varnothing + 7$  cm + 5 cm

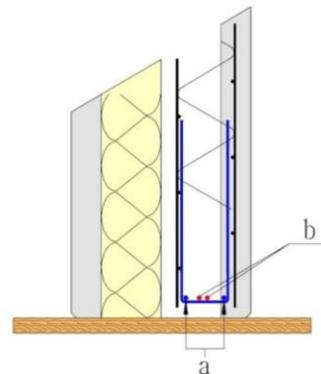
## 2.23.11. Réalisation d'une poutre voile

### 2.23.11.1. Poutre voile sans plancher inférieur suspendu



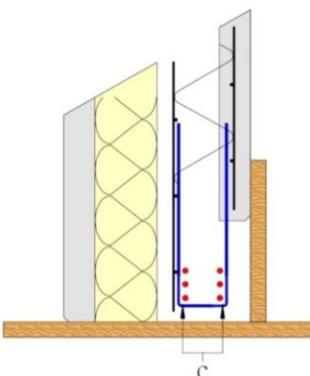
**Figure 142 - Tirants intégrés au MCII sans joint vertical**

*a* : tirants inférieurs



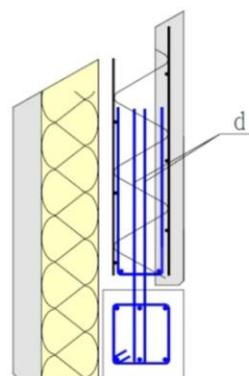
**Figure 143 - Tirants intégrés aux MCII avec joint vertical**

*b* : armatures de recouvrements



**Figure 144 - Tirants inférieurs mis en œuvre sur chantier avec ou sans joints verticaux**

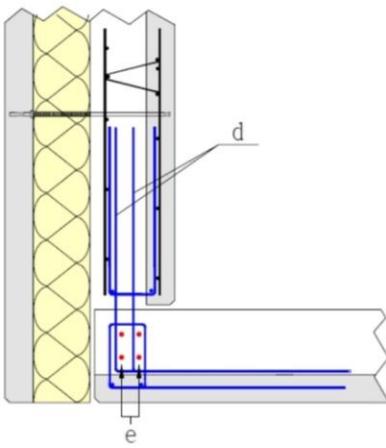
*c* : tirants inférieurs mis en œuvre sur chantier



**Figure 145 - Tirant réalisé sur chantier**

*d* : armatures de coutures entre le MCII et le tirant réalisé sur chantier.

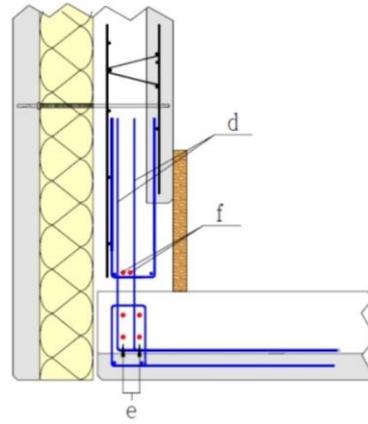
## 2.23.11.2. Poutre voile avec plancher inférieur suspendu



**Figure 146 - Tirants intégrés au plancher inférieur avec ou sans joints verticaux**

*d* : armatures de couture

*e* : tirants inférieurs



**Figure 147 - Tirants intégrés au plancher inférieur et MCI avec joints verticaux**

*f* : armatures de recouvrement