

# Document Technique d'Application

Référence Avis Technique **3/12-723**

*Mur à coffrage et isolation  
intégrés  
Incorporated shuttering  
wall including thermal  
insulation*

*Ne peuvent se prévaloir du présent  
Document Technique d'Application  
que les productions certifiées,  
marque CSTBat, dont la liste à jour  
est consultable sur Internet à  
l'adresse :*

**www.cstb.fr**

*rubrique :*

Evaluations  
Certification des produits et des  
services

## Thermacoffré ®

Relevant de la norme

**NF EN 14992**

**Titulaire :** H&H Technologies  
4 Rue de Hoerd  
F- 67550 Eckwersheim  
Tél : 03 90 00 79 60  
Fax : 03.90 00 79 61

**Co-titulaires** IDSB et IDSB Nord Est  
4 Rue de Hoerd  
F- 67550 Eckwersheim  
Tél : 03 90 00 79 60  
Fax : 03.90 00 79 61

**Usine :**

- Buerkle Bétonwerk Heideweg 8 D-77880 SASBACH,
- Beton-Betz GMBH Rappenaue r strasse 46 D-74912  
KIRCHARDT,
- CDLP rue de la Gache F- 38530 Barraux,
- Préfaxis Kasteelstraat 9 B-8980 Geluveld,
- SAPB quartier les Fauries 05230 La Bâtie Neuve.

Commission chargée de formuler des Avis Techniques  
(arrêté du 21 mars 2012)

**Groupe Spécialisé n°3**

Structures, planchers et autres composants structuraux

Vu pour enregistrement le 21 janvier 2013

**Le Groupe Spécialisé n° 3 de la Commission chargée de formuler des Avis Techniques a examiné le 19 juin 2012 le procédé de mur à coffrage et isolation intégrés « Thermacoffré ® » exploité par les sociétés H&H Technologies, IDSB et IDSB Nord Est. Il a formulé sur ce procédé l'Avis Technique ci-après. L'Avis Technique formulé n'est valable que si la certification CSTBat visée dans le Dossier Technique, basée sur un suivi annuel et un contrôle extérieur, est effective.**

## 1. Définition succincte

### 1.1 Description succincte

Procédé de mur à coffrage et isolation intégrés constitué de deux parois minces préfabriquées en béton armé, dont l'une comporte un isolant accolé, maintenues espacées par des connecteurs synthétiques et servant de coffrage en œuvre à un béton prêt à l'emploi, pour réalisation de murs articulés ou encastres.

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 3,80x12,80 m.

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

Les menuiseries sont rapportées en œuvre. Les huisseries métalliques peuvent être incorporées.

#### Revêtements

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

### 1.2 Mise sur le marché

Les éléments de mur en béton armé visés dans le présent Avis sont soumis, pour leur mise sur le marché, aux dispositions de l'arrêté du 30 juin 2008 portant application à certains produits préfabriqués en béton du décret n° 92-647 du 8 juillet 1992 concernant l'aptitude à l'usage des produits de construction, modifié par les décrets n° 95-1051 du 20 septembre 1995 et n°2003-947 du 3 octobre 2003.

## 2. Avis

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

L'Avis ne vaut que pour les fabrications faisant l'objet d'un certificat CSTBat délivré par le CSTB.

### 2.1 Domaine d'emploi accepté

Murs de locaux d'habitation, bureaux, établissements recevant du public, locaux industriels, pouvant comporter une hauteur isolée enterrée de 1 m. maximum, en situation non immergée et dont l'utilisation ne rend pas obligatoire l'étanchéité de la paroi (sous-sol de deuxième catégorie au sens du DTU 20-1 partie 1 § 7.4.2). Les limites de hauteur résultent de l'application des règles de dimensionnement définies et approuvées ci-après, ainsi que d'une limitation à 10 niveaux (R+9).

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.

Possibilité d'emploi en zones de sismicité 1 à 5 (selon l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié) moyennant les dispositions spécifiques définies dans le Dossier Technique et complétées par les prescriptions techniques correspondantes du paragraphe 2.3 ci-après.

Les planchers avec prédalles suspendues présentés au paragraphe 0 Figure 30 du Dossier Technique ne sont pas visés par le présent Avis pour une utilisation en zone sismique.

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.

### 2.2 Appréciation sur le procédé

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

#### Stabilité

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

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

#### Résistance au séisme

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

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.

#### Sécurité au feu

Dans la limite d'une durée de tenue au feu de 2h, les méthodes traditionnelles réglementaires de vérification au feu pour les murs simples en béton armé sont applicables à la partie structurelle (noyau + paroi intérieure) des murs réalisés selon le procédé « Thermacoffré ® », partie structurelle considérée comme homogène de ce point de vue.

Les températures dans le voile porteur sont données en annexe pour des durées de stabilité au feu de 60, 90 et 120 minutes. Elles 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.

Tenue au feu de l'ancrage des connecteurs dans le voile extérieur : les connecteurs inclinés à 45° sont 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.

Les pourtours des ouvertures sont protégés par une bande de laine minérale de 100 mm minimum. Elle pourra être réduite à 50 mm lorsqu'elle est protégée par une bavette en acier.

Les éléments « Thermacoffré ® » visés par cet Avis ont une épaisseur d'isolants entre 6 et 20 cm

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

Le système permet de l'assurer normalement.

#### Isolation thermique

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

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

Le calcul du coefficient de transmission thermique du procédé Thermacoffré ®  $U_{DI}$  se fait par la formule suivante :

$$U_{DI} = \frac{1}{\frac{b_i}{\lambda_i} + \frac{b_1 + b_2 + b_n}{2} + 0.17} + n_c \times \chi_{connecteur}$$

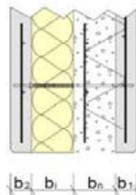
Où :

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

$n_c$  : densité surfacique des connecteurs

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

$b_i, b_1, b_2, b_n$  : épaisseurs des différentes couches du Thermacoffré<sup>®</sup>, représentées sur le schéma ci-dessous, en m :



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

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

### Isolation acoustique

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

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

### Étanchéité des murs extérieurs

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

### Risques de condensation superficielle

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

### Confort d'été

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

### Finitions-Aspect

Les finitions prévues 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 Cahier des Prescriptions Techniques ci-après. Il ne peut être cependant totalement exclu que, malgré la présence nécessaire d'aciers de liaison, de fines fissures, sans autre inconvénient que leur aspect, se manifestent au droit de certains joints entre panneaux de coffrage non revêtus. En cas d'absence d'aciers de liaison dans les jonctions intérieures, une fissuration du mur au droit des joints est probable.

### Liaisons avec les ouvrages de second œuvre

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

## 2.22 Durabilité-Entretien

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

Les acrotères constitués par un prolongement des panneaux du dernier niveau doivent comporter des armatures de sections conformes à celles prévues dans les Prescriptions Techniques des

panneaux sandwichs à voile extérieur librement dilatable (cf. Cahier du C.S.T.B. n° 2159, livraison 279, référence 2).

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

Elle requiert :

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

## 2.23 Fabrication et contrôle

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

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

Le présent Avis est formulé dans l'hypothèse de l'existence d'un autocontrôle de la fabrication, surveillé par le CSTB et reconnu par une certification CSTBat. Les « Thermacoffré<sup>®</sup> » bénéficiant d'un certificat valide sont identifiables par la présence du logo CSTBat suivi du numéro de marquage apposé sur eux.

## 2.24 Mise en œuvre

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

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

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

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

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

## 2.3 Cahier des Prescriptions Techniques.

### 2.31 Conditions de conception

- 1- Les justifications de calcul de stabilité et de résistance des murs doivent prendre en compte la présence des joints entre panneaux de coffrage et donc n'être arrêtées qu'après calepinage de l'ouvrage.
- 2- Les murs réalisés suivant le procédé Thermacoffré<sup>®</sup> peuvent être considérés comme porteurs lorsque l'épaisseur structurelle (épaisseur de la paroi intérieure + épaisseur du noyau coulé en place) est supérieure à 16cm.
- 3- Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du mur à coffrage intégré, la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurelle du mur (paroi intérieure + noyau coulé en œuvre) correspond à :

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

avec :

$f_{c,p}$  = résistance caractéristique du béton des parois préfabriquées

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

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

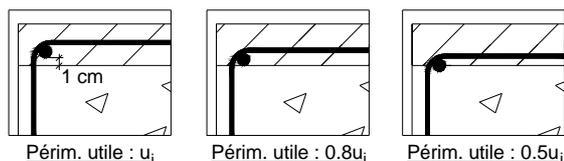
$b_1$  = épaisseur de la paroi préfabriquée intérieure

$b_n$  = épaisseur du noyau coulé en place

Cette résistance sera prise en compte pour l'ensemble des éléments intégrés dans le mur à coffrage intégré (poteau, poutre voile...).

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 3.1.1.1 du Dossier Technique établi par le demandeur.

- 4- L'organisation des panneaux doit être conçue de telle sorte que chacun des voiles extérieurs en béton soit librement dilatable grâce notamment à l'absence de tout contact rigide avec un autre voile, une façade perpendiculaire ou un autre corps de bâtiment.
- 5- En phase de manutention, le nombre de boucles de levage nécessaire est déterminé en fonction des dimensions et du poids des panneaux selon les préconisations du fabricant des boucles.
- 6- 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.
- 7- Sauf justification explicite de la stabilité des panneaux, les joints horizontaux entre panneaux doivent se situer au droit des planchers, et en aucun cas entre deux planchers.
- 8- Si l'enrobage intérieur des armatures de structures est supérieur à 1 cm, le périmètre utile  $u_i$  (cf. art. A.6.1.3. des règles BAEL) n'est pas minoré. Si l'armature est tangente à l'interface de reprise,  $u_i$  est multiplié par 0,8. Si l'armature est sécante au plan de reprise,  $u_i$  est multiplié par 0,5.



- 9- Le bétonnage s'effectue dans les conditions de vitesse et de hauteur de chute spécifiées au paragraphe 6.1 et 6.5 du Dossier Technique.

#### 10- Dispositions parasismiques

##### a) Généralités

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

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

Le nombre et la répartition des connecteurs sont déterminés par le titulaire du procédé.

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.

##### b) Liaisons entre Thermacoffré® en zone courante :

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

##### c) Liaisons entre Thermacoffré® au droit d'une dalle :

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

##### d) Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs voiles :

Les intersections de voiles nécessitent systématiquement la mise en œuvre d'un chaînage vertical. Ce chaînage peut être incorporé dans 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.

##### e) Exigences relatives au façonnage des armatures :

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans les règles PS92 ou l'Eurocode 8 selon le référentiel applicable.

##### f) La classe des armatures devra être conformes aux prescriptions de l'Eurocode 8, en fonction du choix de conception de la structure.

- 11- Dans le cas de calfeutrement des joints de murs, tenir compte pour la justification des Thermacoffré® de la réduction de section de béton au droit de ces joints.
- 12- L'épaisseur nominale du noyau doit être au moins de 7,5 cm afin de respecter l'épaisseur minimale de 6 cm, avec les valeurs par défaut des tolérances.
- 13- 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.
- 14- Les plans mentionnent la stabilité au feu pour laquelle les connecteurs ont été dimensionnés.
- 15- Liaisons entre panneaux Thermacoffré® en zone courante.

Les formules de l'annexe 12 donnant la valeur de  $V_{RdI}$  correspondent au cas où le noyau coulé en place comporte un ferrailage horizontal coté isolant. Dans le cas où le noyau central ne comporte pas de ferrailage horizontal coté isolant, les valeurs de  $V_{RdI}$  doivent être divisées par deux.

- 16- Dans le calcul des largeurs de joints, il sera pris en compte une tolérance de pose minimale de 5 mm dans tous les cas, même lors d'une pose des panneaux avec cales. La largeur de joint doit être d'au moins de 5 mm, toute tolérance épuisée.

##### 17- Rôles des différents intervenants :

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

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

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

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

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

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

Les plans de préconisation de pose mentionnent la zone sismique, le type de sol et la catégorie d'importance du bâtiment pris en compte pour le dimensionnement des murs, des 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.

## 2.32 Conditions de fabrication

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

Ces raidisseurs doivent faire l'objet d'une certification par un organisme extérieur. Les critères de certification sont les suivants :

- hauteur déclarée avec une tolérance de +1/-3 sur cette dimension,
- résistance des soudures :

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

Statistiquement, avec un fractile de 5% et un niveau de confiance de 90%, les résistances de ces soudures doivent être supérieures aux valeurs données, en fonction des diamètres des diagonales, dans le tableau ci-après :

Tableau 1

Ødes Diagonales (sinusoïdes)	Résistance de la soudure R [daN]	Force disponible à la limite élastique $F_s$ [daN]
Ø 5 mm	980	982
Ø 6 mm	1180	1414
Ø 7 mm	1610	1924

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

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

### 2.33 Conditions de stockage et de transport

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

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.

Le stockage à plat est à proscrire.

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

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

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

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

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.

### 2.34 Conditions de mise en œuvre

Pour la stabilité en phase provisoire, le dimensionnement des douilles doit être réalisé pour la valeur de vitesse de vent spécifiée dans les DPM. En l'absence de vitesse de vent spécifiée dans les DPM, une valeur de 85 km/h, quelle que soit la direction du vent, sera retenue (en référence à la norme NF P 93 350 relative aux banches, art. 6.3.1.6).

Le bétonnage en œuvre doit être réalisé conformément aux prescriptions aux paragraphes 6.1 et 6.5 du Dossier Technique.

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

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

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

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

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

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

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

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.

### 2.35 Contrôle et certification

Les contrôles doivent permettre de garantir les caractéristiques certifiées suivantes :

- la résistance caractéristique à la compression à 28 jours du béton des parois préfabriquées,  $f_{c,p}$
- épaisseur des parois,  $b_1$  et  $b_2$
- enrobages des armatures
- ancrage des connecteurs de 50 mm nominal (38 mm minimal)

## Conclusions

### Appréciation globale

A condition que chaque fabrication bénéficie d'une certification CSTBat, l'utilisation du procédé dans le domaine d'emploi visé est appréciée favorablement.

### Validité

3 ans, jusqu'au 30 juin 2015.

Pour le Groupe Spécialisé n°3  
La Présidente  
Roseline LARQUETOUX

## 3. Remarques complémentaires du Groupe Spécialisé

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

Les règles de dimensionnement se basent sur celles du CPT MCI Cahier du CSTB 3690 édition mai 2011, 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 part les exigences vis-à-vis de l'enrobage minimal extérieur et intérieur à respecter.

Le Rapporteur du Groupe Spécialisé n°3  
A. CRONOPOL

# Dossier Technique

## établi par le demandeur

## A. Description

### 1. Définition et domaines d'emplois du Thermacoffré®

#### 1.1 Destination et principe

Le procédé de mur à coffrage et isolation intégrée « Thermacoffré® » est destiné à la réalisation de parois porteuses ou non porteuses en infrastructure et en superstructure, de murs de façades, murs de refends pouvant contenir des poutres voiles, poteaux et des poutres destinés à tous types de bâtiments.

Les Thermacoffrés® sont destinés à la réalisation de murs coupe-feu, de murs enterrés ou partiellement enterrés.

Les Thermacoffrés soumis à pression hydrostatique extérieure sont autorisés moyennement un dispositif d'étanchéité extérieur.

#### 1.2 Présentation générale

Les Thermacoffrés® sont composés en partant de l'intérieur :

- d'une paroi intérieure de 6 à 7cm d'épaisseur équipée d'une nappe d'armatures et de raidisseurs espacés de 60cm 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 20cm d'épaisseur,
- d'une paroi extérieure de 6 à 7cm d'épaisseur 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.

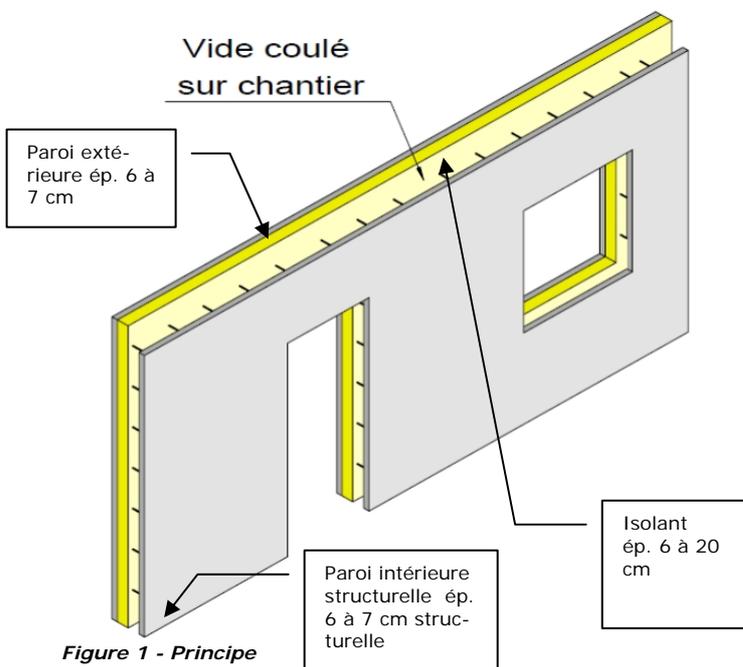


Figure 1 - Principe

Une ou deux faces peuvent être matricées. Pour respecter les enrobages minimum 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 Thermacoffrés® sont assurées par des armatures rapportées disposées dans la partie coulée en œuvre ou par des armatures spécifiques intégrées au Thermacoffré®.

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

L'encastrement du Thermacoffré® 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 Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés® ou rapportées en œuvre. De même les huisseries, menuiseries, gaines des fluides, boîtiers, platines, négatifs, goujons, douilles et autres équipements peuvent être incorporés aux Thermacoffrés® ou rapportés sur chantier dans des réservations prévues à cet effet.

L'étanchéité des Thermacoffrés® 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.

#### 1.3 Identification

Chaque Thermacoffré® est identifié par une étiquette qui mentionne :

- Le numéro et le nom de la commande,
- Le numéro du plan,
- Le numéro du colis,
- Le numéro du Thermacoffré®.
- Le nom de l'usine
- Le poids de l'élément

## 2. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la fabrication et la mise en œuvre du Thermacoffrés® 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.

#### 2.1 Le béton des parois du Thermacoffré®

Le béton réalisé en usine est conforme à la norme NF EN 13369 et NF EN 206-1 concernant les classes d'environnement.

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

#### 2.2 Le béton de remplissage.

Le béton de remplissage est un Béton Prêt à l'Emploi, conforme au projet et à la norme NF EN 206-1. 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  $D_{max} = 10$  mm,
- pour des panneaux avec un noyau d'épaisseur strictement supérieure à 9 cm :  $D_{max} = 16$  mm.

Classe de consistance S4 ou S5 (affaissement au cône d'Abrams  $\geq 160$  mm) selon la norme NF EN 206-1. La consistance fluide est obtenue par ajout d'un superplastifiant.

#### 2.3 Les armatures

##### 2.3.1 Armatures incorporées aux parois.

Les aciers utilisés pour la fabrication des armatures du Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés®, conforme à la norme EN 10080
- TSHA B500 : panneaux de treillis soudés intégrés aux Thermacoffrés® ou utilisés en acier de liaison, conforme à la norme EN 10080

##### 2.3.2 Les raidisseurs

De façon courante les Thermacoffrés® 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 ou équivalent par un organisme extérieur.

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

Les cages d'armatures réalisées dans l'atelier d'armatures de l'usine 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 Thermacoffré®

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

### 2.33 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 (platinas, rail...).

### 2.4 Les boucles de levages

Tous les panneaux sont équipés de boucles de manutention en acier Fe E235.

Le nombre de crochet nécessaire à la manutention est déterminé en fonction des dimensions et du poids du panneau selon les préconisations du fabricant.

En phase de manutention, les deux parois en béton armées sont soutenues par les boucles de levage. L'effort de compression tendant à rapprocher les deux parois entre elles est repris par une cale en bois ou tout autre dispositif équivalent (Figure 2). Elle est destinée à rester dans le Thermacoffré® en phase définitive et autorise la libre dilatation de la paroi extérieure.

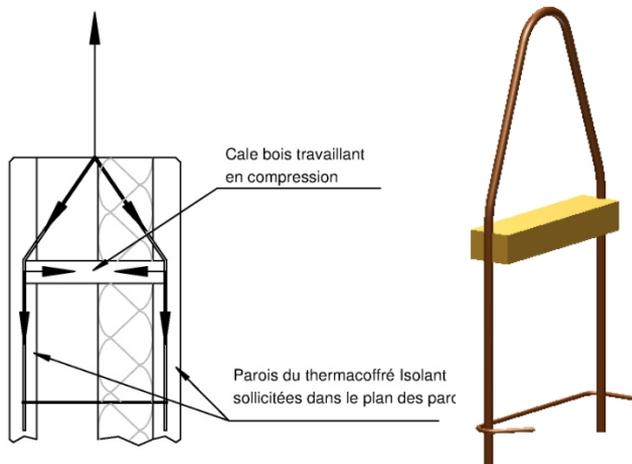


Figure 2 - Répartition des efforts dans les boucles de levage

Figure 3 - Boucles de levage Thermacoffré®

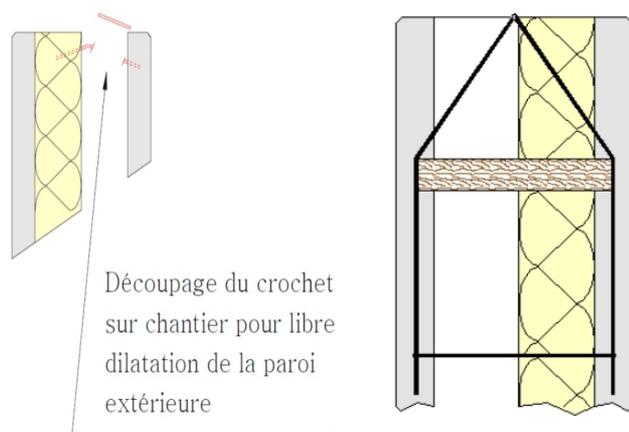


Figure 4 - Découpage des boucles de levage sur chantier au ras de l'isolant, à préciser sur les plans de pose



Figure 5 - Enrobage des boucles de levage (pour toutes les épaisseurs)

### 2.5 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 I2S2O2L3E2.

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

### 2.6 Les connecteurs

#### 2.6.1 Généralités

Les connecteurs qui relient les parois intérieures et extérieures sont des barres composées de fibres de verre enrobées de résine. La fabri-

cation 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'autre type 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 grande dimensions. (3,8m x 12,8m).

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.

## 2.62 Les connecteurs Thermomass

Les connecteurs Thermomass TM en fibres de verre (borosilicate) enrobées de résine (vinylester) de section 9.8 x 5.7mm et équipé 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.

Tableau 1 - Caractéristiques du connecteur TM

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 <sub>w</sub>	112.5 mm <sup>4</sup>
Inertie dans le sens de la hauteur I <sub>s</sub>	374.0 mm <sup>4</sup>
Module d'élasticité en flexion E <sub>ab</sub>	30000 N/mm <sup>2</sup>
Module d'élasticité en compression	40000 N/mm <sup>2</sup>

traction. E <sub>az</sub>	
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±2) x 10 <sup>-6</sup> m/(m. °C)

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 du connecteur TM90°  $L_c = t + ds + dn + t$

Avec :

t = longueur d'ancrage dans les parois = 50 mm,

ds = épaisseur de l'isolant

dn = largeur du noyau.

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 TM90 et courent 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. 3.25 Justification au feu de la liaison entre la paroi librement dilatable et le voile structural.)

La longueur du connecteur  $L_c = t' + ds' + d n' + t'$

Avec :

t' = longueur d'ancrage dans la paroi préfabriqué = 70 ou 60 mm,

tn' = longueur d'ancrage dans le noyau = ép. noyau x 1,414

ds' = épaisseur de l'isolant x 1.414

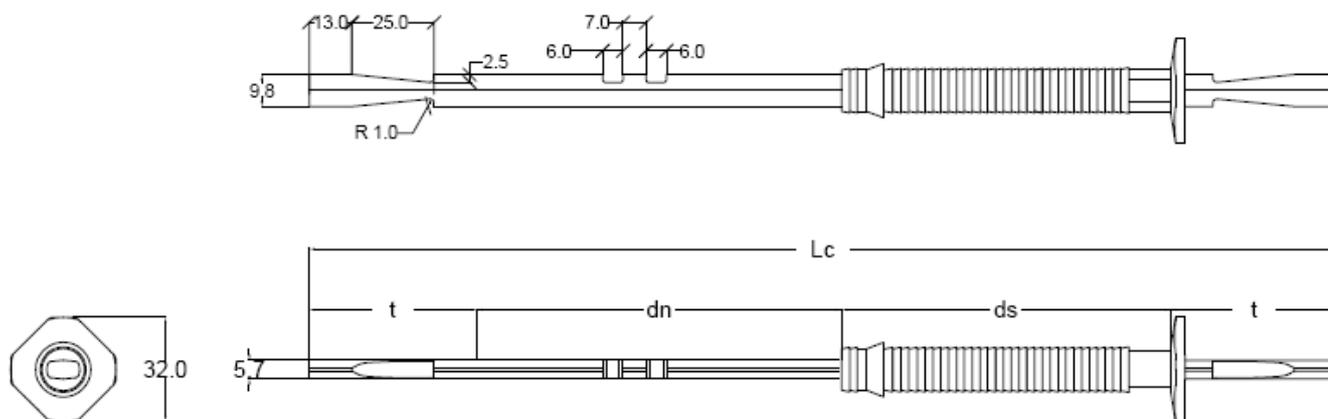


Figure 6 - Détail d'un connecteur 90°

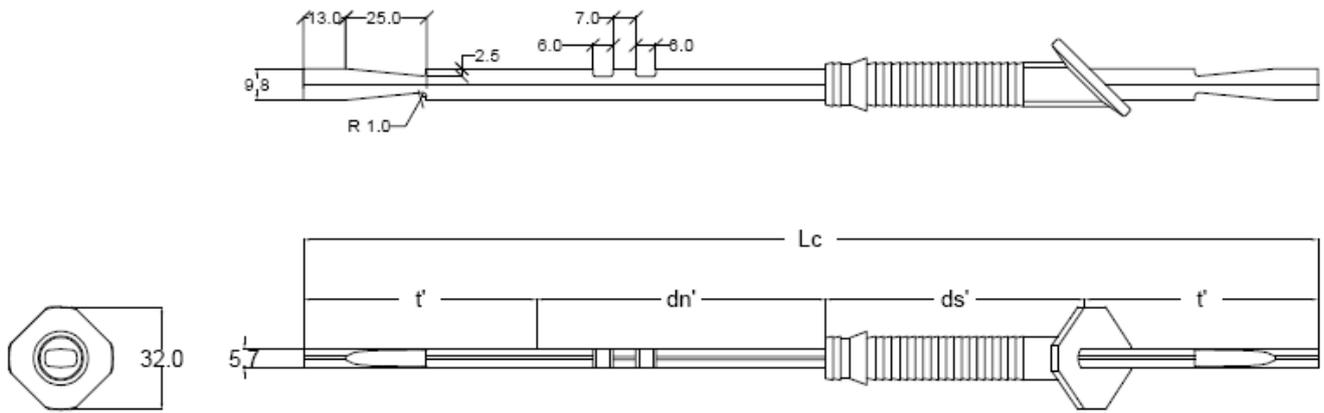


Figure 7 - Détail d'un connecteur TM45°

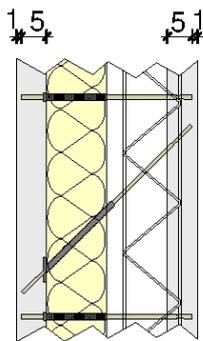


Figure 8 - Principe de disposition des connecteurs TM 90° et 45°

## 2.7 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 Thermacoffrés® 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

## 2.8 Les matériaux de jointoiment et d'étanchéité des Thermacoffrés®

Les matériaux de jointoiment 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.

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

Les parois du Thermacoffrés® 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.

## 2.10 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.

## 3. Conception de la paroi extérieure

### 3.1 Généralités

Les parois extérieures des Thermacoffrés® 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 du Thermacoffrés® ne prennent pas appuis sur la paroi librement dilatable, et ne la mettent pas en charge.

### 3.2 Dimensionnement des connecteurs

#### 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.

Les connecteurs sont répartis de façon uniforme de façon à ce que le centre des raideurs des connecteurs soit proche du centre de gravité de la paroi extérieure.

Une ou deux lignes de connecteurs disposé à 45° par rapport au plan moyen du Thermacoffrés®, 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.

#### 3.2.2 Résistance admissible du connecteur TM

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

	Cisaillement	Traction
Raideur moyenne	73 (8/l) <sup>3</sup>	1000
Résistance caractéristique de la barre	0,75(8/l)	$N_{Rkb} = 13,6\text{kN}$
Résistance	$VRka = 0,75(8/l)$	$NRka = 13,6\text{ kN}$

caractéristique de l'ancrage		
Résistance à l'ELU statique	$VRd = VRka/1,2$	$NRd = NRka/(1,2 \times 2) = 5,67 \text{ kN}$
Résistance à l'ELU dynamique	$VRd = 0,8 \times VRka/1,2 = VRka/1,5$	$NRd = 0,6 \times NRka/(1,2 \times 2) = 3,40 \text{ kN}$

Avec  $l$  = longueur libre du connecteur =  $d_s$  = épaisseur de l'isolant

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

#### 3.231 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 = 0,625 (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 :

$$N_{Ed} / N_{rd} + V_{Ed} / V_{rd} = 1$$

#### 3.232 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 + 0,9 T :

• 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 :  $N_{Ed2,90} = 1,5N_{W90} + 0,9N_{T90}$

• Cisaillement :  $V_{Ed2,90} = 1,35V_{G90} + 0,9V_{T90}$

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:

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

#### 3.233 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 : 1,35 G + 1,45 T + 0,9 W, d'où

• Traction :  $N_{Ed,45} = 1,35N_{G45}$

• Cisaillement :  $V_{Ed,45} = 1,5V_{T45}$

Les tableaux en annexe 16 expriment  $d_{l45}$  pour des hauteurs et longueurs/largeurs de panneau ainsi que pour des épaisseurs d'isolant de 6 à 20 cm.

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

#### 3.241 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 10 - Accélération sismiques horizontales). L'accélération verticale = 0,9 de la force horizontale en zones 1 à 4 et 0,8 pour la zone 5)

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,

#### 3.242 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 divisé 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.

#### 3.243 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  $\frac{N}{N_{rd}} + \frac{V}{V_{rd}} = 1$  et ne risque pas de

fermer le jeu vertical entre les voiles librement dilatables.

Les sollicitations étant ici totalement décorréliées sur les connecteurs droits (une accélération horizontale située dans le plan moyen ne crée que du cisaillement et une accélération horizontale perpendiculaire au plan moyen ne crée que de la traction), le domaine de concomitance des sollicitations admet pour bornes une ellipse d'équation :

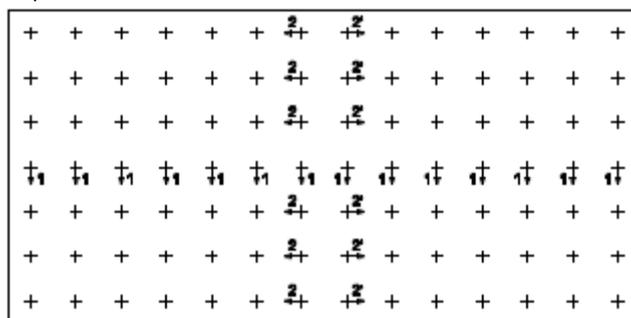
$$\left(\frac{N}{N_{rd}}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_{rd}}\right)^2 = 1$$

Les Tableau 13 et Tableau 17 annexe 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 Thermacoffrés® 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 14 ou Tableau 18 Annexe 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 con-

necteurs TM90° est  $\geq 4$  connecteurs/m<sup>2</sup> soit une trame de 50 x 50 cm au minimum.

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

#### 3.251 Généralités

La paroi extérieure librement dilatable du Thermacoffrés® est reliée au voile structural par les connecteurs en fibres de verre. La vérification de la tenue de la paroi extérieure librement dilatable suit la démarche suivante. On regarde dans un premier temps jusqu'à quelle distance du point milieu de la ligne des connecteurs à 45° (point de déplacement relatif nul entre les voiles) les connecteurs droits sont capables de supporter les efforts qu'ils subissent du fait de la dilatation thermique de membrane du voiles structural. On regarde ensuite si la partie du voile librement dilatable située au-delà de cette distance peut rester convenablement assemblée à la partie du voile librement dilatable située en-deçà de cette distance. On regarde enfin si les connecteurs à 45° situés en-deçà de cette distance suffisent à supporter le voile librement dilatable.

#### 3.252 Incidence de la position des connecteurs disposés à 45° sur la stabilité de la paroi extérieure au feu

La justification de la stabilité au feu de la paroi librement dilatable est vérifiée tant que les connecteurs droits restent actifs. Lorsque la distance entre la rangée de connecteurs 90° le plus éloigné et la rangée de connecteur à 45° est trop grande, la liaison est rompu et les connecteurs ne sont plus actifs. L'armature de la paroi n'est plus suffisante pour reprendre la porte à faux du voile non tenu.

Tableau 3 - Rayon du cercle, en mètre, centré sur le point milieu de la ligne de connecteurs à 45° à l'intérieur duquel les connecteurs droits restent actifs après deux heures d'exposition au feu normalisé ISO R-834

		Epaisseur de l'isolant en cm			
		6	8	10	12
Epaisseur du voile structural	12	4,5	6,5	8,5	11
	15	7	9,5		
	18	10,5			

#### Cas des voiles de grande hauteur

Les Thermacoffrés® de grande hauteur sont particulièrement concernées par ces dispositions. Compte tenu que l'épaisseur des voiles structurels des murs de grande hauteur est supérieure ou égale à 16 cm, il n'y a pas de limitation de la hauteur. On veillera à positionner les connecteurs à 45° à une distance maximale de la mi-hauteur du Thermacoffrés® égale aux valeurs du Tableau 4.

Tableau 4 - Distance maximale de la mi-hauteur, en (m), à laquelle la ligne de connecteurs à 45° peut être disposée pour éviter la chute d'un morceau de paroi librement dilatable après deux heures d'exposition au feu normalisé ISO R6834

		Epaisseur de l'isolant en cm					
		6		8		10	
Epaisseur de la paroi librement dilatable en cm		7,0	5,0	7,0	5,0	7,0	5,0
Epaisseur du voile structural	12	1,5	1,0	3,5	3,0	5,5	5,0
	15	4,0	3,5				

Pour les configurations autres que celles du tableau précédant, aucunes restrictions n'est à faire sur la position de la ligne de connecteur à 45° pour les panneaux disposés verticalement.

#### Cas des Thermacoffrés® de grande longueur

L'étude de laboratoire montre que pour même pour les cas de figure les plus sévères l'armature mini ST10 de la paroi extérieure est suffisante pour assurer la stabilité du voile drapeau libre après la rupture des connecteurs les plus éloignés de l'axe médians vertical.

#### 3.253 Justification de l'ancrage des connecteurs au feu

L'étude de laboratoire montre que la sollicitation de l'ancrage du connecteur est égale à :

$$N_{EdF2h} = 9 \frac{nb_{dessous} - nb_{dessus}}{ép._{isolant}} + (\sqrt{2} \times 25 \times h_{vld} \times e_{vld})$$

Avec :

$nb_{dessous}$  et  $nb_{dessus}$  = au nombre de connecteur 90° qui sont actifs au-dessous et au-dessus de la ligne connecteurs à 45°

$h_{vld}$  = hauteur de la paroi librement dilatable en mètre

$e_{vld}$  = épaisseur de la paroi librement dilatable en mètre

La formule met clairement en évidence l'importance de positionner les lignes de connecteurs 45° au plus proche de la mi-hauteur du panneau de façon à réduire voir annuler le premier terme de la formule.

Lorsque l'on a déterminé l'effort sollicitant après deux heures d'exposition au feu on justifie le nombre de connecteurs.

$$nb_{c45^\circ \text{ actifs}} = \frac{N_{EdF2h}}{N_{RdF2h}}$$

Avec :

$Nb_{c45^\circ \text{ actifs}}$  = les connecteurs actifs sont les connecteurs à 45° qui se trouvent d'une part dans le cercle de rayon du Tableau 3 et d'autre part en dehors d'une bande de 0,8 m au-dessus des ouvertures afin de ne pas être exposés aux flammes qui s'échappent des baies.

$N_{RdF2h} = N_{RkaF2h} / 2 = 4,80 \text{ kN} / 2$  pour tenir compte de la rupture fragile.

Lorsque la ligne de connecteurs 45° est centrée sur les axes médians du Thermacoffrés® on obtient :

$$ds_{45^\circ \text{ actif}} = \frac{35,35 \times e_{vld}}{2,4}$$

$ds_{45^\circ \text{ actif}}$  = densité de connecteurs actifs par m<sup>2</sup> de parois librement dilatable

Lorsque  $e_{vld} = 6 \text{ cm}$  on a besoin de 0,9 connecteur 45° actifs/m<sup>2</sup> Thermacoffrés®

Lorsque  $e_{vld} = 7 \text{ cm}$  on a besoin de 1,0 connecteur 45° actifs/m<sup>2</sup> Thermacoffrés®

#### 3.254 Disposition constructive pour assurer la stabilité au feu de 2 heures

En périphérie des réservations la protection de l'isolant (lorsqu'il n'est pas MO) est assurée par la mise en place de matériaux MO.

Cette protection pourra par exemple être assuré 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 protégé par une bavette métallique et 10 cm dans le cas contraire.

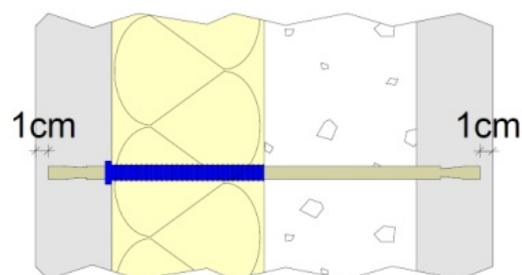
On peut se dispenser de cette disposition lorsque le bâtiment ne comprend qu'un RDC.

Le maintien de la paroi extérieure en situation d'incendie est assuré par les connecteurs en fibre de verre, aptes à supporter les champs de températures suivant la réglementation actuellement en vigueur EN 1992-1-2, arrêté 2011

### 3.3 Epaisseur de la paroi et armatures intégrés à la paroi extérieure

#### 3.31 Epaisseur de la paroi extérieure

La paroi aura une épaisseur minimum permettant un enrobage de 1 cm du connecteur TM. Pour un ancrage de 3,8 cm cette épaisseur est égale à 5 cm, pour un ancrage de 5 cm cette épaisseur est égale à 6 cm.



### 3.32 Armatures minimales intégrées à la paroi extérieure

Les aciers pour armatures utilisés pour la fabrication du Thermacofrés® répondent aux exigences suivantes :

- EN 10080 pour les barres,
- EN 10080 pour les treillis,

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

### 3.4 Calepinage

Le calepinage des Thermacofrés® est conçu :

- en tenant compte des dimensions maximales de panneaux de 3,8 x 12,8
- 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 Thermacofrés® avec deux parois de : 5 cm = 250 kg/m<sup>2</sup> ; 6 cm = 300 kg/m<sup>2</sup> et 6+7 cm = 325 kg/m<sup>2</sup> .

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). (§3.24) et de la Justification des connecteurs disposés à 90° sous chargement dynamique (sismique) (§3.243) et en conséquence de la largeur des joints déduite

### 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 de Thermacofrés® enterré 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 du Thermacofrés® afin de répondre aux poussées de terre les plus pénalisantes.

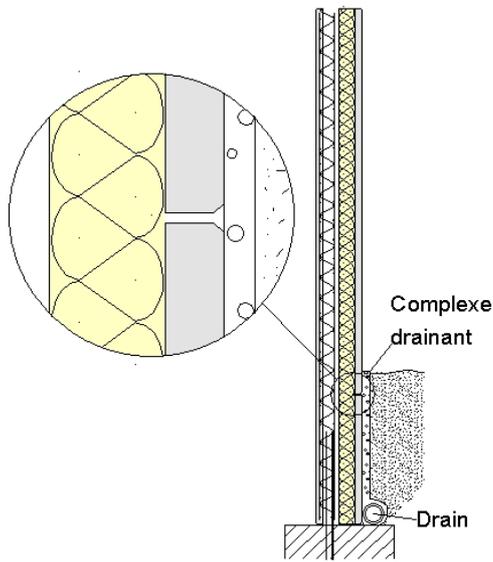


Figure 9 - Murs semi enterrés de grandes hauteurs

### 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.

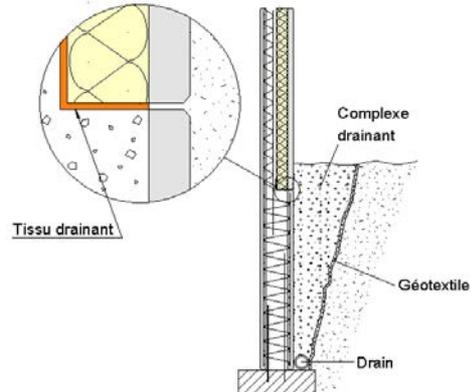


Figure 10 – Murs semi enterrés hauteur importante

## 4. Conception de l'isolant

### 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 à vérifier le coefficient de transmission thermique prescrit au CCTP suivant la formule suivante

$$U_{DI} = \frac{1}{\frac{b_i}{\lambda_i} + \frac{b_1 + b_2 + b_n}{2} + 0.17} + nb_c \times \chi_{connecteur}$$

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 le fascicule 4/5 des « Règles Th-U » 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 couche du Thermacofrés®.

$nb_c$  = nombre de connecteurs par m<sup>2</sup>

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

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

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

Le tableau ci-dessous définit les caractéristiques thermiques du Thermacoffré® avec un isolant  $\lambda = 0,032$  en fonction de l'épaisseur de l'isolant, des parois intérieures et extérieures et du noyau coulé en place.

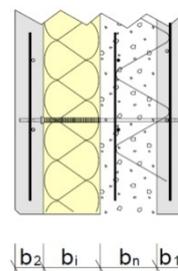


Tableau 5 - Caractéristiques thermiques du Thermacoffré® en fonction de l'ép. de l'isolant  $\lambda = 0,032$  et 4 connecteurs /m<sup>2</sup>

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

## 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 le Thermacoffré® permet d'obtenir la valeur d'affaiblissement minimale de 30 dB exigé par la réglementation.

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

### 5.1 Prescriptions communes aux Thermacoffrés®

#### 5.1.1 Généralité

A l'exception des prescriptions données dans ce document, les Thermacoffrés® sont dimensionnés selon les règles usuelles de la résistance des matériaux et du béton armé (DTU 23.1 Art 4.3.3 et BAEL) 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 Thermacoffré®
- Entre deux Thermacoffrés®
- Entre le Thermacoffré et les éléments linéiques structurels préfabriqués.
- Entre le Thermacoffré® et les éléments surfaciques structurels préfabriqués.

Les Thermacoffrés® 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 du Thermacoffré.

### 5.1.2 Règles de dimensionnement

Pour la détermination de la capacité résistante en section courante du Thermacoffrés®, la résistance équivalente à la compression prise en compte pour l'épaisseur structurelle du mur correspond à :

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

avec :

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

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

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

$b_1$  = épaisseur de la paroi

$b_n$  = épaisseur du noyau

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

Au niveau des joints entre le Thermacoffré®, ou entre le Thermacoffré® et un autre élément de structure (radier...) la résistance caractéristique équivalente  $f_{c,eq28}$  à 28 jours, prise en compte est égale à  $f_{c,n}$ .

Au droit des joints entre le Thermacoffrés® ou entre le Thermacoffrés® 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 11)

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

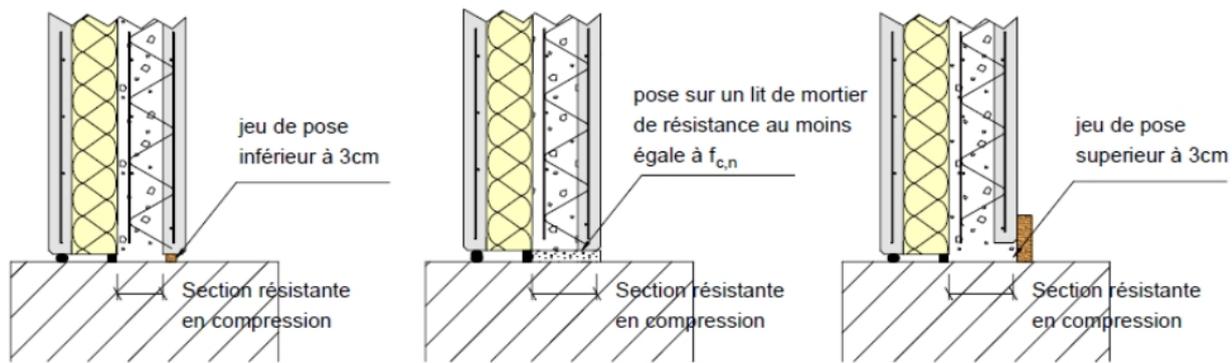


Figure 11 - Section résistante en compression en fonction de la réalisation de l'appui en pied de Thermacoffré®

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 structurale (paroi structurale + noyau coulé sur chantier) est  $\geq 16$  cm.

### 5.13 Armatures minimales

Les conditions minimales présentées dans cette section sont valables quelque soit la position du Thermacoffré® dans l'ouvrage.

Excepté des conditions plus restrictives définies dans les pièces marchées 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.

### 5.14 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 :

Épaisseur de la partie structurale	16 cm	22 cm	26 cm
Hauteur libre du Thermacoffrés®	4 m	5 m	7 m

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

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

avec :

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

et  $H$  = hauteur du mur

### 5.15 Épaisseur de la paroi structurale et enrobages

#### 5.151 Épaisseur minimale et maximale du Thermacoffré®

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 5.152

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 1.5cm.

#### 5.152 Enrobage des raidisseurs

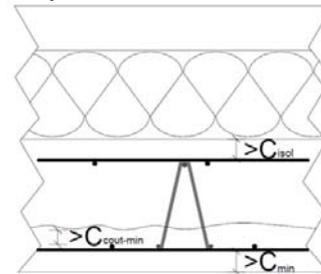


Figure 12 - Définition des enrobages

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  $c_{cout\_min} = 15$ mm.

Dans le cas où la résistance caractéristique  $f_{c,p}$  du béton préfabriqué est supérieure à 25 MPa, la valeur de 15 mm peut être réduite. L'enrobage minimal  $c_{cout\_min}$  sera dans ce cas égal à :

$$c_{cout\_min} = \text{Max} \left\{ \begin{array}{l} \sqrt{\frac{2.1}{f_{t,p}}} \times 15 \text{ mm} \\ 10 \text{ mm} \end{array} \right.$$

Avec  $f_{c,p} > 40$  Mpa on retient  $c_{cout\_min} = 10$  mm

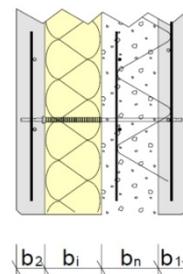
Les valeurs d'enrobage nominal sont déterminées à partir des valeurs d'enrobage minimal définies en tenant compte des tolérances d'exécution Figure 12 soient :

- $\Delta e_1^+$  la tolérance en plus sur l'enrobage  $e_1$  en face structurale
  - $\Delta e_1^-$  la tolérance en moins sur l'enrobage  $e_1$  en face structurale ;
  - $\Delta b_1^-$  la tolérance en moins sur l'épaisseur de la face structurale ;
- Les valeurs de tolérances ci-dessus sont, par défaut, prises égales à :

•  $\Delta e_1^+ = 5$  mm ;

•  $\Delta b_1^- = 3$  mm ;

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



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

$$\text{avec : } \Delta_1 = \sqrt{(\Delta e_1^+)^2 + (\Delta b_1^-)^2} = 5.8 \text{ mm}$$

avec :

- $b_1$  l'épaisseur nominale de la peau coffrante structurale
- $e_1$  l'enrobage nominal en face structurale
- $C_{\text{coul\_min}}$  l'enrobage minimal du raidisseur, côté face intérieure de la peau coffrante
- $\varnothing_{t1}$  le diamètre des armatures perpendiculaires aux raidisseurs dans la peau coffrante côté noyau coulé en place, de section  $A_{t1}$
- $\varnothing_{\text{raid\_inf}}$  le diamètre des armatures inférieures du raidisseur, de section  $A_{\text{raid\_inf}}$

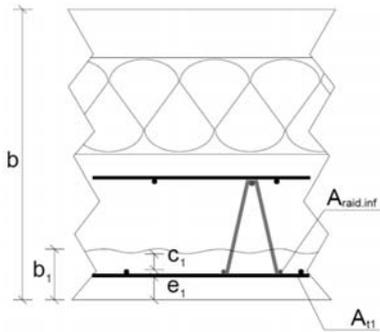


Figure 13 - Définition des chaînes de cotes

### 5.16 Calepinage des Thermacoffrés®

Le calepinage des Thermacoffrés est conçu :

- en tenant compte des dimensions maximales de panneaux de 3,8 x 12,8
- 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 Thermacoffrés® 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 incidences.

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

### 5.17 Principes constructifs

#### 5.171 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® à l'aide des raidisseurs (Cf Figure 15).

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

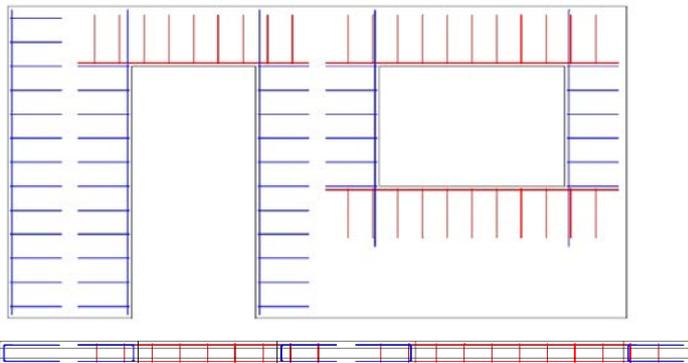


Figure 14 – Solution traditionnelle

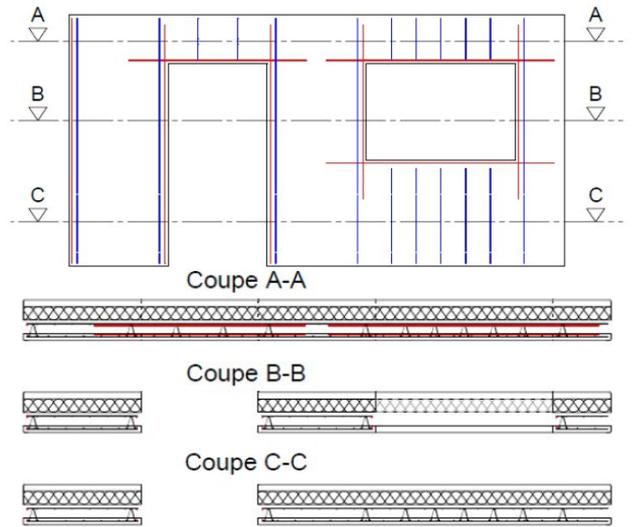


Figure 15 – Solution Thermacoffrés®,

Les armatures constructives constituées de cadres, d'épingles ou d'étriers, pourront également être réalisées dans les Thermacoffrés® à l'aide des raidisseurs.

Les filants sont soit intégrés en renfort dans les parois des Thermacoffrés®, soit remplacés par les filants des raidisseurs si la section est équivalente.

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

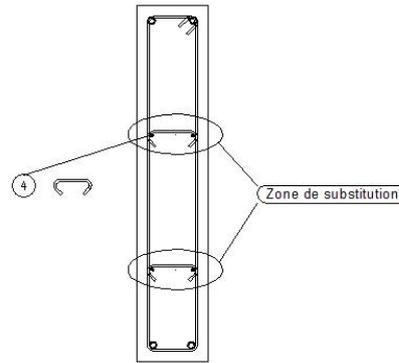


Figure 16 - Armatures de poutre solution traditionnelle

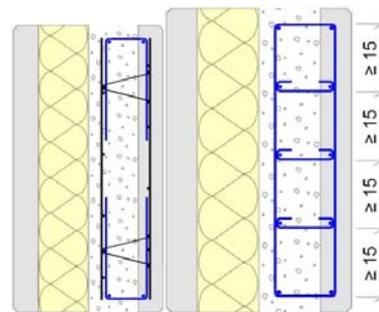


Figure 17 - Armatures de poutre solution Thermacoffrés®

Nota : La solution présentée à la Figure 17 (droite) n'est valable que pour une hauteur de poutre  $h \leq 1\text{m}$ . La section d'armature équivalente est calculée à partir de l'effort résistant au niveau du plan de cisaillement oblique.

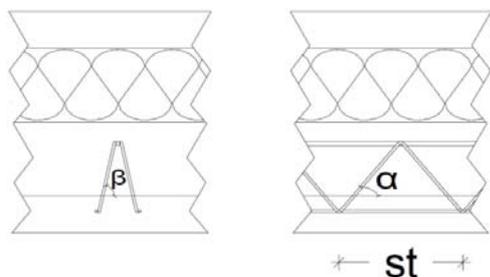


Figure 18 - Géométrie du raidisseur

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

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 :

Tableau 6 - Tableau de correspondance entre coutures classiques et raidisseurs

Épaisseur Ar Thermacoffré®	Type de raidisseur	Section cm²/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

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 Thermacoffrés®

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

### 5.172 Façonnage des armatures

#### Aciers Structuraux

Si l'enrobage intérieur des armatures de structures est supérieur à 1 cm, le périmètre utile  $u_i$  (cf. art. A.6.1.3. des règles BAEL) n'est pas minoré. Si l'armature est tangente à l'interface de reprise,  $u_i$  est multiplié par 0,8. Si l'armature est sécante au plan de reprise,  $u_i$  est multiplié par 0,5.

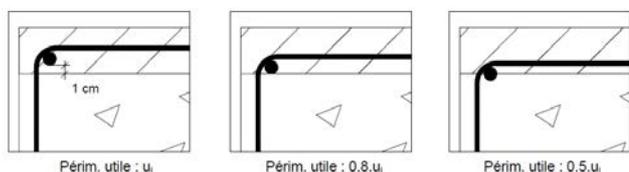


Figure 19 - Enrobage des armatures de structure et périmètre utile

NOTE : Cette disposition revient à multiplier la longueur de scellement par un coefficient 1.25 si l'armature est tangente à l'interface de reprise et par un coefficient 2 si elle est sécante.

Attentes verticales pour murs et poteaux.

Les armatures en attente et les armatures de liaison sont disposées de manière à respecter les enrobages définis dans les règles BAEL en fonction de l'exposition du mur. 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.

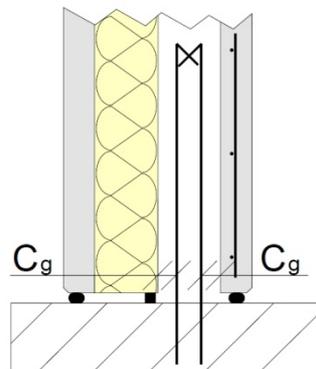


Figure 20 - Position des armatures en attente dans un Thermacoffré®

### 5.173 Eclissage des armatures

Les règles d'ancrages d'armatures sur appuis sont celles du BAEL (Art A.5.1.312 pour l'appui simple d'about et Art A.5.1.321 pour l'appui intermédiaire).

Ces armatures sont soit intégrées dans les Thermacoffrés®, 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 :

$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - 2 \max(25mm; 1,7.D_{max})}{2}$$

Pour l'éclissage des armatures horizontales (Figure 21)

$$\phi_{max} = \frac{b_{n,min} - e_0 - 2 \max(25mm; 1,4.D_{max})}{2}$$

Pour l'éclissage des armatures verticales (Figure 22)

Avec :

$b_n$ , min l'épaisseur minimale du noyau de béton coulé en place, toutes tolérances épuisées.

$e_0$  tel que,  $e_0 = 0$  si les armatures sont accolées et  $e_0 = 1,7 D_{max}$  si elles sont espacées

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 Thermacoffrés®,  $\Delta b^-$  suivant l'expression suivante :

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

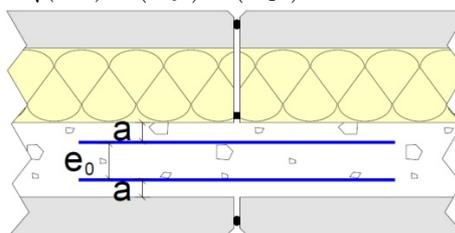


Figure 21 - Exemple d'éclissage des armatures horizontales

$$a \geq \text{Max}(C_g, 25mm, 1,7 \times D_{max})$$

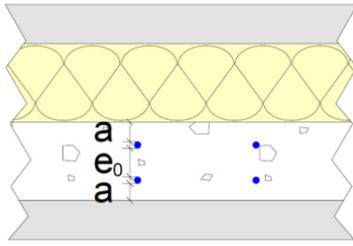


Figure 22 - Exemple de l'éclissage des armatures verticales

Ces dispositions permettent d'assurer un enrobage effectif de 1.5cm, conférer figure du CPT MCI.

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.

## 5.18 Critère de bétonnage

### 5.181 Hauteur de chute du béton.

La hauteur maximale  $H_{max}$  de chute du béton de remplissage des murs Thermacoffrés® 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 23).

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.

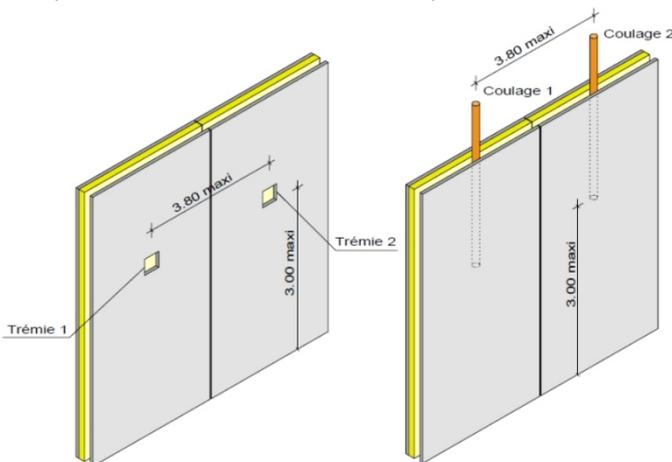


Figure 23 - Hauteur de bétonnage équivalente à (a) hauteur de bétonnage équivalente à (a) hauteur sous trémie et (b) hauteur sous tube souple

### 5.182 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 :

- 75 cm/h pour des températures  $\geq 15^\circ\text{C}$
- 60 cm/h pour des températures  $\geq 10^\circ\text{C}$

Pour les températures inférieures à  $15^\circ\text{C}$  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 3,70 kN.

## 5.19 Principe de conception des liaisons

### 5.191 Liaison articulée en pied du Thermacoffré®.

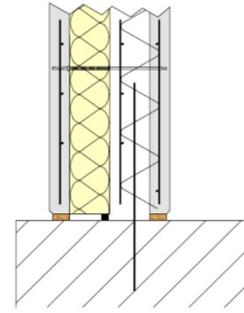


Figure 24 - Liaison articulée

### 5.192 Encastrement en pied du Thermacoffré®.

#### 5.1921 Encastrement avec continuité de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type A), (Annexe 23.72)

Le principe constructif de ces liaisons consiste à intégrer les armatures d'encastrement aux Thermacoffrés® ou avant la pose du Thermacoffrés® 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.

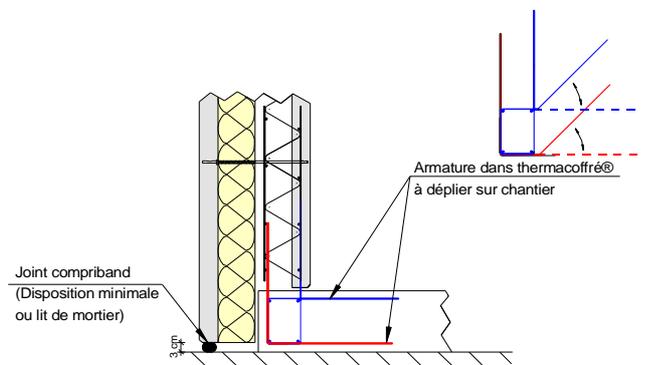


Figure 25 - Encastrement Thermacoffrés®/radier A1

#### Liaison A1

Les armatures en attentes intégrées aux Thermacoffrés® 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 au Thermacoffrés®.

Les coupleurs utilisés sont du type HBS de la société HALFEN ou équivalent.

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

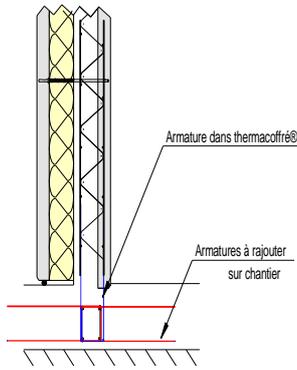


Figure 26 - Encastrement Thermacoffré®/radier A3

Liaison A4

Elle se différencie des solutions précédentes par l'intégration partielle des armatures d'encastrement dans les Thermacoffrés®.

5.1922 Encastrement avec reprise de bétonnage aux jonctions murs/fondations (Type B1), (Annexe 23.73)

Les liaisons de type B se différencient des précédentes par la présence d'une reprise de bétonnage en pied du Thermacoffré®. La présence d'un radier ou d'une fondation facilite la pose et la stabilisation provisoire du Thermacoffré®. L'inconvénient de cette liaison est la réduction de la hauteur utile d'encastrement due à l'épaisseur de la paroi. A 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®.

En coffrant le pied de la paroi intérieure du Thermacoffré® on rétablit une hauteur utile équivalente aux solutions A1 à A4 ou coulé en place (Figure 28).

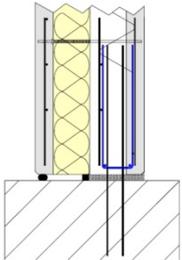


Figure 27 - Encastrement Thermacoffré®/radier B1

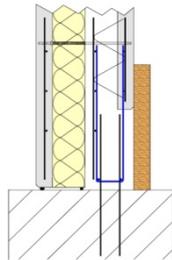


Figure 28 - Encastrement Thermacoffré®/radier B3

La continuité de l'encastrement entre le Thermacoffré® 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 du Thermacoffré®.

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 Thermacoffré® à la fondation nécessite un bon remplissage du joint de calage en pied et la mise en place d'un dispositif qui empêche la fuite de laitance. Le Thermacoffrés® 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 Thermacoffré® 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 Thermacoffré® 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 Thermacoffré® 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 Thermacoffré®.

5.193 Liaisons Thermacoffrés® avec dalle (Annexe 23.8)

5.1931 Liaisons courantes rotulées

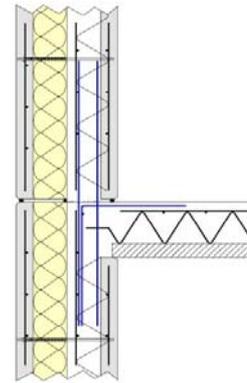


Figure 29 - Liaison Thermacoffré® avec dalle

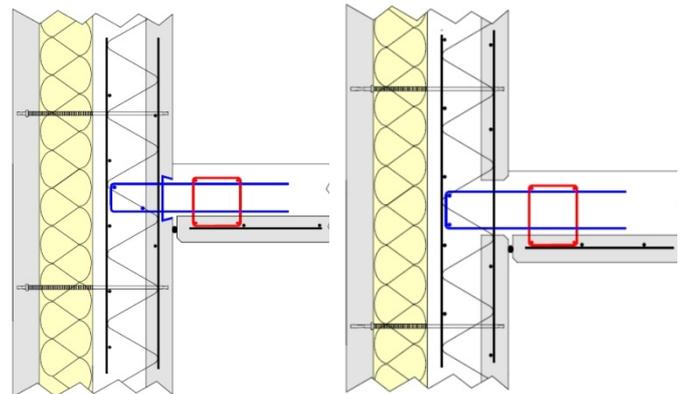


Figure 30 - Liaison Thermacoffré® avec dalle suspendue (hors exigence sismique)

La liaison ( ), est une disposition courante où l'armature haute de la dalle équilibre un moment correspondant à 0.15 Mo (Mo moment isostatique en travée de la dalle) c'est le cas des planchers en prédalles B.A ou B.P, dalles alvéolées et dalles coulé en place.

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

5.1932 Liaisons encastrées

Les armatures intégrées en tête des panneaux Thermacoffrés® permettent de mobiliser un moment d'encastrement.

Pour les appuis de rive, lorsque des liaisons efficaces (Figure 31) 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).

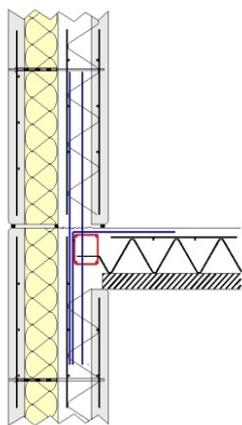


Figure 31 - Liaison dalle/Thermacoffrés® encastrée

### 5.194 Liaisons articulées entre Thermacoffrés®

#### 5.1941 Joint vertical droit, d'angle droit et en T (Annexe 23.91 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 Thermacoffrés®.

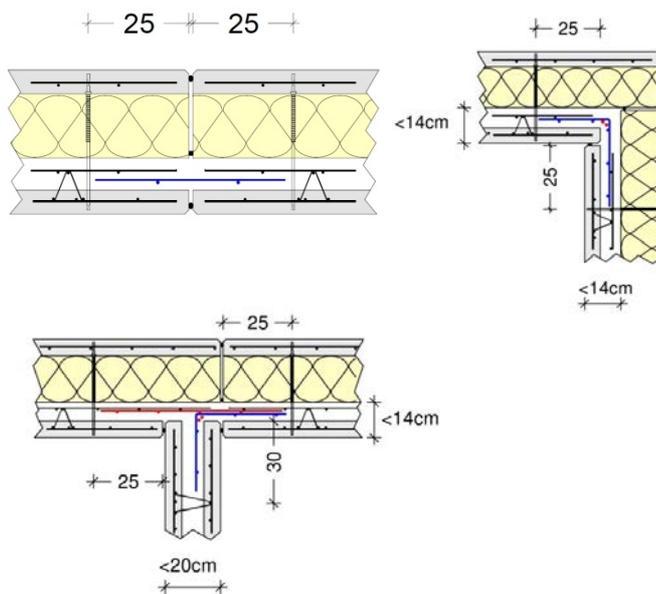


Figure 32 - Liaisons verticales articulées

#### 5.1942 Joint horizontal droit (Annexe 23.101)

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®.

### 5.195 Liaisons articulées couturées entre Thermacoffrés®. (Annexe Erreur ! Source du renvoi introuvable.)

#### 5.1951 Joint vertical droit (C1)

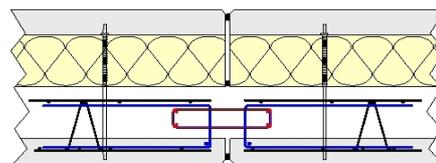


Figure 33 - Liaison verticale couturée droite C1

Ce type de liaison est particulièrement adapté aux liaisons des Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés® à l'autre.

Les armatures de coutures sont posées de préférence avant la pose du Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés®.

#### 5.1952 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 Thermacoffrés® qui forme l'intersection. Dans ce cas on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Thermacoffrés®.

#### 5.1953 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 Thermacoffrés® qui forme l'intersection. Dans ce cas on veillera à justifier la liaison suivant la méthode de l'Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Thermacoffrés®.

### 5.196 Liaisons encastrés entre Thermacoffrés®.

#### 5.1961 Joint vertical droit. (Cf. Annexe 23.96)

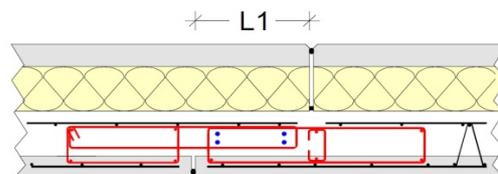


Figure 34 - Joint vertical encastré E1

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 23.72)

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 Thermacoffrés® concomitant au déplacement vertical de la pose.

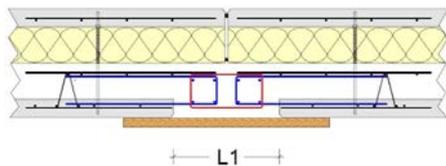


Figure 35 - Joint vertical encastré E2

### 5.1962 Joint d'angle droit vertical (Cf. Annexe 23.96)

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

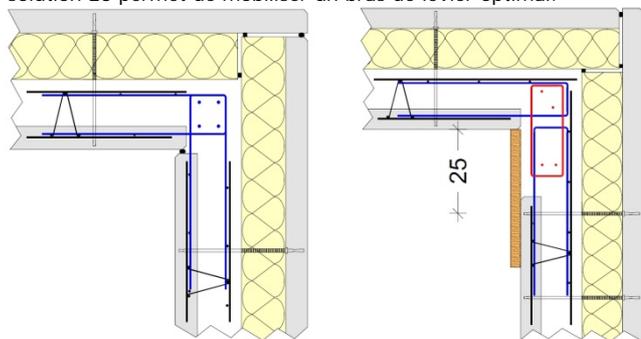


Figure 36 - Liaison verticale d'angle encastrée E3

Figure 37 - 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

### 5.1963 Joint d'angle vertical en T (Cf. Annexe 23.96)

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

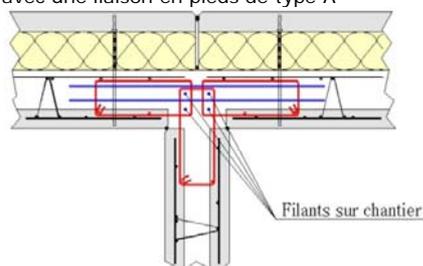


Figure 38 - Liaison verticale en T encastrée E5

### 5.1964 Joint vertical biais (Cf. Annexe 23.96)

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

- Pour un angle supérieur à 135° le ferrailage de l'angle peut être intégré dans le Thermacofrés® selon la même méthode que la solution pour le joint droit ?
- Pour les angles inférieurs à 135° l'armature sera rapportée dans la partie coulée en place.

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

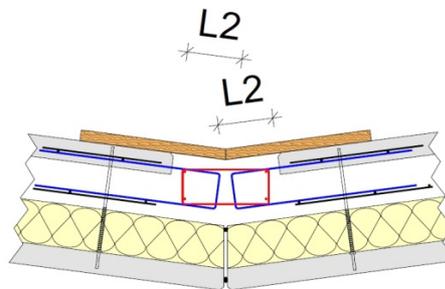


Figure 39 - Liaison verticale d'angle encastrée

### 5.1965 Joint horizontal droit (Cf. Annexe 23.102)

Trois systèmes constructifs permettent de réaliser un encastrement horizontal entre deux Thermacofrés®.

- La liaison E8 : La continuité est assurée par les armatures en attente posées lors du bétonnage du Thermacofrés® 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 mur Thermacofrés® à l'autre est assurée par le croisement et le clavetage des cages d'armatures intégrées aux Thermacofrés®. 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.

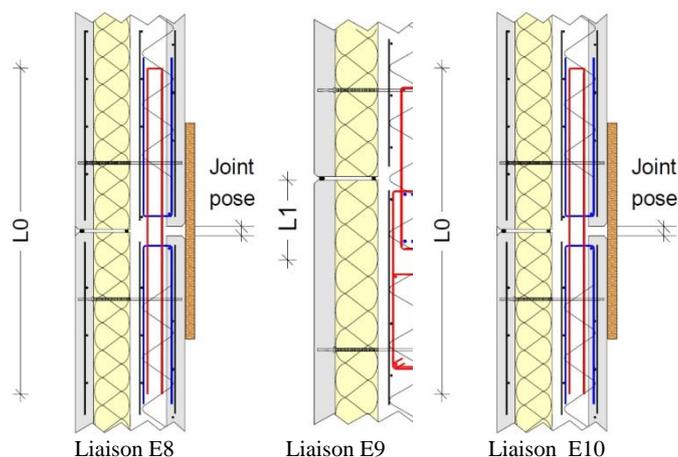


Figure 40 - Liaisons horizontales encastrées

### 5.110 Disposition parasismique

#### 5.1101 Principe général

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

- De former un diaphragme dans leur plan afin de transmettre les efforts sismiques horizontaux acheminés par les planchers vers les fondations.
- De maintenir la cohérence et le monolithisme de la structure.
- Les dispositions suivantes ne concernent que les murs considérés comme éléments 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 et à la structure doivent être dimensionnées pour une utilisation en béton fissuré.

On distingue deux modes de fonctionnement pour un mur réalisé en Thermacofrés® :

Comportement monolithique de l'ensemble du voile

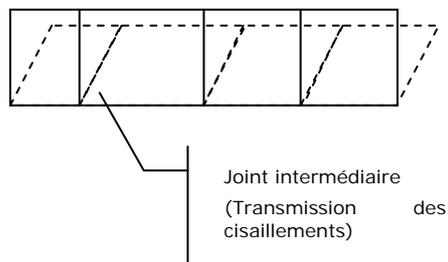


Figure 41 - Schéma d'un comportement monolithique des panneaux

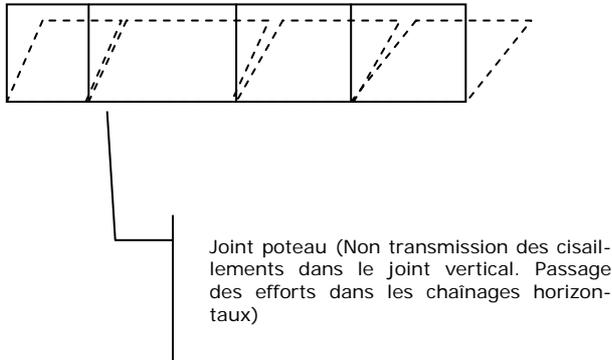


Figure 42 - Schéma d'un comportement indépendant des panneaux

Les tirants et chaînages adéquats issus du calcul peuvent être intégrés dans les Thermacoffrés®.

Le choix entre les deux principes de fonctionnement doit être effectué lors de la conception de l'ouvrage par le bureau d'étude de structure en collaboration avec le préfabricant.

### 5.1102 Stabilité d'ensemble

La détermination des efforts induits par les actions sismiques sur un voile réalisé en Thermacoffrés® 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® peuvent être assimilés à un voile banché de section homogène équivalente à condition de respecter les dispositions et justifications exposées dans les paragraphes suivants, qui correspondent au cas par défaut.

### 5.1103 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 I). Cette vérification permet de déterminer le type de liaison à utiliser pour le panneau étudié.

### 5.1104 Liaisons entre Thermacoffrés® 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 11.8.2.1.3 des règles PS 92 sur la base du noyau du Thermacoffrés®.

### 5.1105 Dispositions dans les joints verticaux droits

Les liaisons verticales entre deux panneaux successifs sont justifiées d'après la méthode de l'Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Thermacoffrés®, page 32.

A défaut de justifications par le calcul, les liaisons verticales doivent répondre aux dispositions suivantes: réalisation de poteaux au droit des joints (Figure 43) dans lesquels sont incorporées des armatures horizontales de continuité ancrées au-delà des raidisseurs de rives. 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.

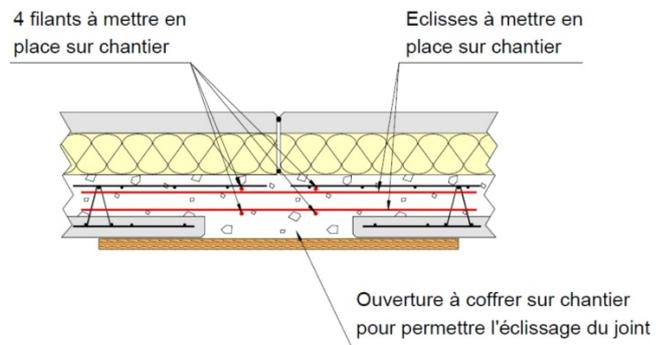


Figure 43 - Liaison verticale en zone sismique sans justification par le calcul

Remarque : Pour les comportements indépendants, les chaînages qui bordent le diaphragme de contreventement sont disposés de part et d'autre du joint (Figure 44). L'armature de liaison est une armature constructive de type treillis ST10.

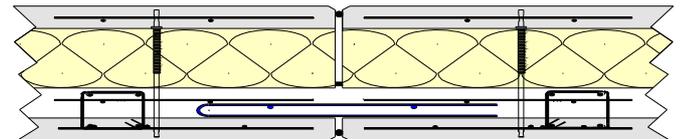


Figure 44 - Liaison verticale en zone sismique dans le cas d'un comportement indépendant

### 5.1106 Liaisons à l'intersection de deux ou plusieurs Thermacoffrés®

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

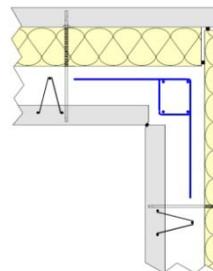


Figure 45 - Liaison d'angle avec chaînage sismique

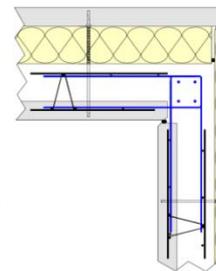


Figure 46 - Liaison d'angle sismique couturée

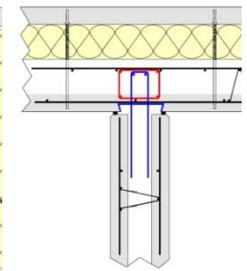


Figure 47 - Liaison en T avec chaînage sismique

Les dispositions minimales des règles PS 92 doivent être respectées, notamment les dispositions de l'art. 11.4.3 rappelées ci-dessous.

### 5.1107 Les chaînages

A chaque extrémité de mur est prévu un chaînage vertical (CV) en acier B500 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, ils sont définis à l'article 11.5 des règles PS 92
- Les chaînages des linteaux (CL) sont constitués en acier B500 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  $\Phi 10HA$ .

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

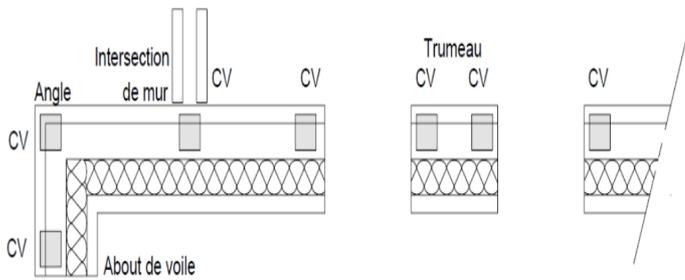


Figure 48 - Implantation des chaînages verticaux

### 5.1108 Exigences relatives au façonnage des armatures

Les armatures transversales des poutres et poteaux doivent respecter les dispositions constructives définies dans les règles PS92 (NF P 06-013).

### 5.111 Stabilité

#### 5.1111 Généralité

Les durées des critères d'exigence coupe-feu ou stabilité au feu d'un mur Thermacoffrés® peuvent être justifiées par application des règles de calcul FB (DTU P 92-701) à l'ensemble de la partie structurale (paroi intérieure + noyau coulé en place) considéré comme homogène.

En particulier :

- les parties structurales comprimées doivent être traitées comme des éléments comprimés standard (Cf. art. 7.1 et 7.3 des règles FB),
- les parties structurales fléchies perpendiculairement à leur plan comme des prédalles, (Cf. art. 7.4 des règles FB),
- les poutres comme des poutres standard (cf. art. 7.5 des règles FB).

La stabilité de la paroi librement dilatable est traitée au §3.25.

#### 5.1112 Murs coupe-feu

Pour les Thermacoffrés® non porteur, le degré de résistance au feu est de 3 heures avec une épaisseur de 16 cm, 4 heures avec une épaisseur supérieure ou égale à 18 cm (règles FB § 7.3 commentaire et § 7.421).

Pour les Thermacoffrés® porteur dont l'élançement est inférieur ou égal à 50 et dont les armatures ne sont pas pris en compte dans la justification, le degré de résistance au feu est de 2 heures pour une épaisseur 16 cm et 18 cm, 3 heures pour une épaisseur 20 cm et 4 heures pour une épaisseur de 25 cm et plus.

Pour les autres murs, le degré de résistance au feu est justifié soit par les règles simples des enrobages lorsque l'élançement est inférieur ou égal à 50, soit par un calcul précis des températures (règles FB § 5 et 7.12) et d'une justification pour les murs autostables de la stabilité de forme à chaud.

Les murs coupe-feu non exposés aux intempéries ne nécessitent pas de traitement particulier du joint si ce dernier est inférieur à 2 cm (Cf. § 7.43 règles FB (DTU 92-701)).

## 5.2 Prescription particulières aux Thermacoffrés® essentiellement sollicités dans leur plan.

### 5.21 Prescriptions particulières aux Thermacoffrés® courants

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

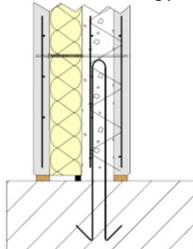


Figure 49 - Liaison en pied des murs courants

Les sollicitations doivent être équilibrées au droit des joints selon les règles usuelles du BAEL, en considérant :

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

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

Dans le cas de murs utilisés en couverture, les murs peuvent être inclinés à 45°.

Les dispositions de mise en œuvre restent identiques aux murs verticaux. Des précautions particulières de blocage en pied de murs seront prises en phase provisoire de montage et de remplissage pour s'opposer au déplacement horizontal (cales, équerres, ...).

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

### 5.22 Prescriptions particulières peaux

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

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

Type de ferrailage fonction du type de sollicitations

#### 5.221 Poteaux résistants par le béton seul

Ces poteaux sont des pièces soumises à une compression « centrée » comme définie dans le BAEL Article B.8.2.1, dont l'armature n'est pas nécessaire dans la vérification.

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

$$N_{u\text{lim}} = \alpha \times \text{Min} \left( \frac{B_r \times f_{c,eq28}}{0.9 \times \gamma_b}; \frac{B_j \times f_{c,eq28}}{0.9 \times \gamma_b} \right)$$

Avec :

$B_r$  la section réduite du poteau (1 cm déduit en périphérie)

$B_j$  la section résistante B du poteau au niveau du joint, réduite de 1cm en périphérie.

B la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :

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

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

$$\alpha = \begin{cases} \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} & \text{pour } \lambda \leq 50 \\ 0.6 \times \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 & \text{pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \end{cases}$$

$$\lambda = \frac{h}{l} \quad (\text{élançement du poteau de hauteur } h \text{ et de longueur } l)$$

$$\gamma_b = 1.5$$

Le ferrailage de ces poteaux résistant par le béton seul est réalisé de la même manière que pour un Thermacoffrés® classique : armatures horizontales, verticales et raidisseurs. Les Thermacoffrés® seront systématiquement fermés par des U.

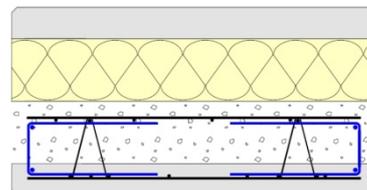


Figure 50 - Section de poteau résistant par le béton seul

#### 5.222 Poteaux nécessitant des armatures structurales (fortement chargés)

Les poteaux n'entrant pas dans les limites ci-dessus pourront être réalisés en Thermacoffrés®, mais les dispositions de ferrailage seront les dispositions traditionnelles de réalisation d'un poteau, comme sur la Figure 51

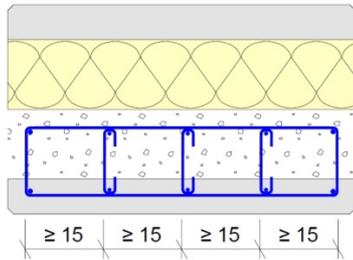


Figure 51 - Section de poteau fortement chargé

L'effort normal en tête de poteau :

$$N_{u\text{lim}} = \alpha \times \text{Min} \left( \frac{B_j \times f_{c,eq28}}{0.9 \times \gamma_b} + \frac{A_s \times f_e}{\gamma_s}; \frac{B_j \times f_{c,eq28}}{0.9 \times \gamma_b} + \frac{A_s \times f_e}{\gamma_s} \right)$$

Avec :

$B_j$ , la section réduite du poteau (1 cm déduit en périphérie)

$B_j$ , la section résistante  $B$  du poteau au niveau du joint, réduite de 1cm en périphérie.

$B$  la section résistante à la compression est calculée en considérant l'épaisseur totale du poteau, réduite des chanfreins éventuels, si :

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

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

$$\alpha = \begin{cases} \frac{0.85}{1 + 0.2 \times \left(\frac{\lambda}{35}\right)^2} & \text{pour } \lambda \leq 50 \\ 0.6 \times \left(\frac{50}{\lambda}\right)^2 & \text{pour } 50 \leq \lambda \leq 70 \end{cases}$$

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

$$\gamma_b = 1.5$$

L'espacement des lits d'armatures est limité à 15 cm pour permettre un bon remplissage du noyau coulé en place.

Par ailleurs, les sections d'armatures doivent respecter les conditions d'éclissage définies par les règles d'ancrages d'armatures sur appuis du BAEL (Art A.5.1.312 pour l'appui simple d'about et Art A.5.1.321 pour l'appui intermédiaire).

### 5.23 Prescriptions particulières aux poutres

La section de béton prise en compte dans le calcul est l'épaisseur du noyau coulé en place. La paroi et le noyau étant considéré comme monolithiques. Les vérifications suivant le BAEL sont complétées par les justifications suivantes.

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

Il convient de vérifier

- Que les armatures de coutures 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

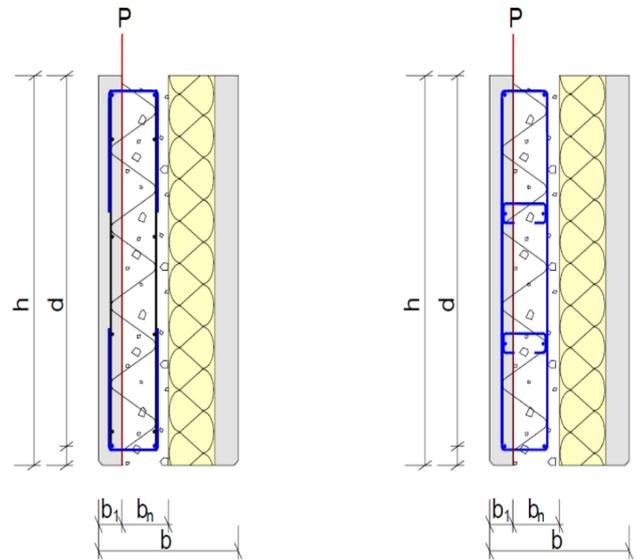


Figure 52 - Plan de cisaillement dans la section d'une poutre

### 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.

Le calcul de l'effort tranchant traversant le plan de reprise se fait suivant les dispositions de l'art A 5.3.2 du BAEL soit :

Effort traversant le plan de cisaillement P1 (en kN/ml) :

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

Avec :

$V_u$  = effort tranchant maxi ELU en kN

$A_s = A_{s1} + A_{s2}$  en  $\text{cm}^2$

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

On en déduit la contrainte de cisaillement maximum qui s'exerce sur le plan de couture (en MPa) :  $\tau_{uc} = \frac{F}{0.6 \times h} \times 10^{-3}$

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

*Nota : L'expression de F ci-dessus est valable en partie courante. Elle a été déterminée par analogie avec l'expression de l'effort tranchant dans une poutre en T ou en I (art. A.5.3.2 des règles BAEL) bien que la situation ne soit pas complètement transposable. 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  $\tau_{lim}$  est telle que :

$$\tau_{u\text{lim}} = \min(v_{Rdi}; 0.5 \times v \times f_{cd})$$

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

vec :  $f_{cd}$  : valeur de calcul de la résistance en compression du béton de remplissage (acc .  $f_{c,n} / \gamma_C$ )

$f_{ctd}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage (act .  $f_{t,n} / \gamma_C$ )

$f_t = \text{Min} (f_{yk} / \gamma_s ; FW / (ADI \cdot \gamma_s))$

$f_{yk}$  = limite caractéristique d'élasticité des aciers

$FW$  : résistance des soudures

$ADI$  = section d'une diagonale du raidisseur treillis

$v = 0,6 \cdot (1 - f_{c,n} / 250)$

$c$  tel que :

- cas des charges à caractère principalement statiques :  $c = 0,20$
- cas des charges dynamiques ou de fatigue :  $c = 0,10$

$\mu = 0,6$

$\alpha$  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 3 : Exemple de calcul de  $\rho_{\alpha}$ , page33

$c$  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 § 6.2.5.5, 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  $p$  (cf. Annexe 4 : Exemple de calcul de tulim, page 34).

Si la valeur limite de la contrainte de cisaillement est telle que :  $tulim > 0,07 \cdot f_{c,eq28} / y_b$ , 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 Thermacofrés® (Figure 53)
- cas 2 :  $b_{app} = b_n + b_1 - ch_1$  correspond à l'épaisseur structurelle totale réduite d'une épaisseur de peau et d'une largeur de chanfrein éventuel (Figure 54)

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 Thermacofrés®

$b_n$  épaisseur du noyau coulé en place

$b_1$  épaisseur de la paroi coffrante structurelle

$ch_1$  largeur des chanfreins de la première peau coffrante

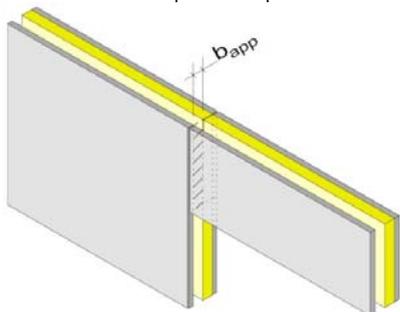


Figure 53 - Appui de poutre - cas 1

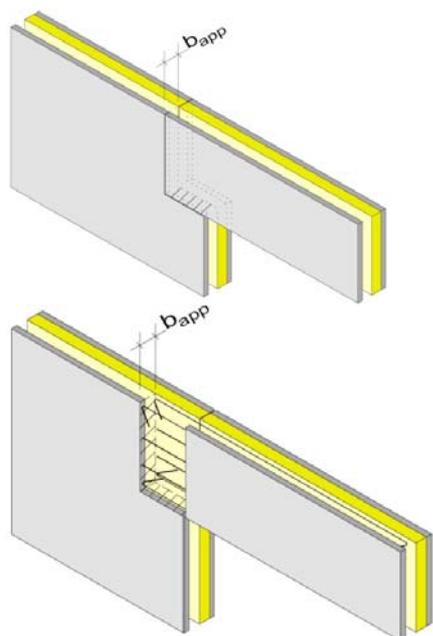


Figure 54 - Appui de poutre - cas 2

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 :  $2 \cdot V_u / b_0 \cdot a \leq 0,8 \cdot f_{c,eq28} / y_b$

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 restent valables :

- Appui simple d'about : BAEL. Art A. 5.1.312
- Appui intermédiaire : BAEL. Art A. 5.1.321

### 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,

## 5.24 Prescriptions particulières aux poutres voiles.

### 5.241 Généralités

Sont considérés comme poutres voiles, les poutres droites de section constante dont la hauteur de section est au moins égale à la moitié de la portée.

Les poutres voiles réalisées en Thermacofrés® sont dimensionnées selon la méthode exposée en annexe E5 et E6.2.5 des règles BAEL auxquelles s'ajoutent les vérifications complémentaires suivantes :

La stabilité d'ensemble de la poutre voile

La vérification aux points singuliers (joints entre murs),

La vérification de la faisabilité de mise en œuvre des armatures (tirants).

### 5.242 Vérification de la Stabilité d'ensemble

Conformément à l'article E.5.3 du BAEL 91 révisé 99, il convient de vérifier l'épaisseur minimale de la paroi afin d'assurer le non-déversement de la poutre-voile. Dans le cas de présence de joints et quelques soient leurs positions, seule l'épaisseur du noyau de béton coulé en place est prise en compte pour cette vérification.

La largeur  $b_n$  du noyau doit être au moins égale à la plus grande des deux valeurs suivantes :

$$3,75 \frac{p}{f_{c,eq28}} \frac{l}{h} \quad \text{si } h \leq l \quad \text{ou} \quad 3,75 \frac{p}{f_{c,eq28}} \quad \text{si } h > l$$

$$\left( 0,14 l_{3,3} \sqrt{\frac{p}{f_{c,eq28} \cdot h}} \right)$$

Avec :

- $p$  : charge totale à l'ELU par unité de longueur,
- $l$  : portée de calcul de la poutre-voile,
- $h$  : hauteur totale de la poutre-voile

Si la paroi est efficacement raidie par des nervures (voiles perpendiculaires, plancher latéraux,...), seule la première condition est à prendre en compte.

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

- par l'épaississement de la poutre-voile,
- par l'ouverture partielle ou complète des joints entre murs.

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

Les différents cas types qui peuvent être rencontrés sont présentés à l'Annexe 5 : Principe de conception des poutres voiles réalisées en Thermacofrés®.

### 5.243 Vérification au droit des joints des Thermacofrés®

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.

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

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  $V_{Rd1}$  à atteindre.

A défaut de justifications de la résistance de la liaison, chaque Thermacoffrés® doit correspondre à une travée de poutre-voile.

Dans tous les cas, la section des armatures de liaison sera au moins égale à la section d'armatures horizontales ou verticales déterminées conformément au chapitre E.5.4 de l'Annexe E.5 du BAEL 91 révisé 99.

## 5.25 Prescription particulières aux acrotères (Annexe 9)

### 5.251 Généralités

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

### 5.252 Acrotères bas

#### 5.2521 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.

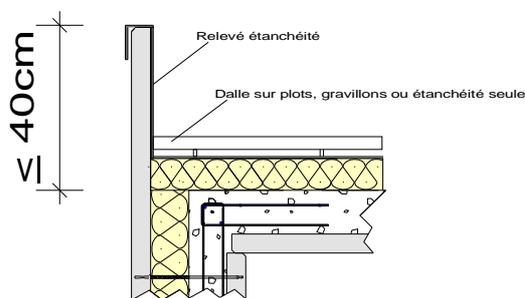


Figure 55 - Acrotère bas de hauteur inférieure à 40 cm

#### 5.2522 Cas des acrotères $> 40$ cm

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

- de la paroi extérieure du Thermacoffrés® et du noyau qui est coffré sur chantier,
- de la totalité du Thermacoffrés®. La liaison avec la dalle est obtenue avec des planches d'attente ou des armatures rapportées dans une réservation prévue dans la paroi intérieure du Thermacoffrés®.

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

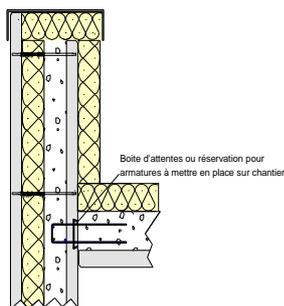


Figure 56 - Acrotère bas de hauteur  $> 40$  cm avec dalle suspendue

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.

### 5.253 Acrotère Haut au sens du DTU 20.12

Les acrotères hauts peuvent être incorporés aux Thermacoffrés® du dernier niveau (Figure 56) ou constitué d'un élément complémentaire rapporté au-dessus de la dalle terrasse (Figure 57).

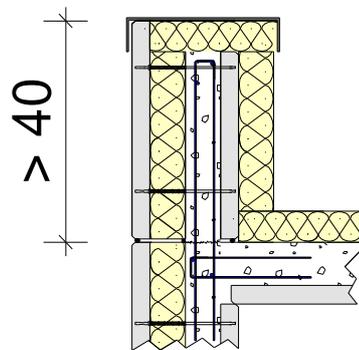


Figure 57 - Acrotère haut constitué d'un Thermacoffrés® rapporté

Dans les deux cas il convient d'isoler la paroi « intérieure » qui se trouve à l'extérieure pour éviter le pont thermique. La partie structurale 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 ferrailée 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 structurale.

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 Thermacoffrés® et auront une largeur de 2cm. 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 1cm.

Sur la hauteur du bandeau continu inférieur les Thermacoffrés® 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.

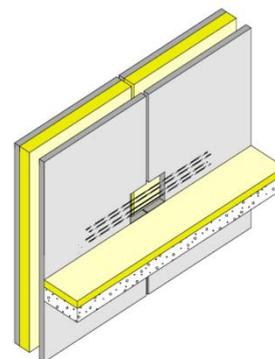


Figure 58 - Acrotère haut réalisé par prolongement du Thermacoffrés® dont la paroi « intérieure » n'est pas isolée

## 5.26 Prescriptions particulières aux éléments inclinés

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

Dans le cas de murs utilisés en couverture, les murs peuvent être inclinés à 45°. Les dispositions de mise en œuvre restent identiques aux murs verticaux. Des précautions particulières de blocage en pied de murs seront prises en phase provisoire de montage et de remplissage pour s'opposer au déplacement horizontal (cales, équerres, ...).

Les pieds de Thermacoffrés® doivent être vérifiés en phases provisoire et définitive. Sauf justifications particulières, les deux peaux seront frettées en pied par un HA6  $e=30$  minimum.

## 5.27 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)

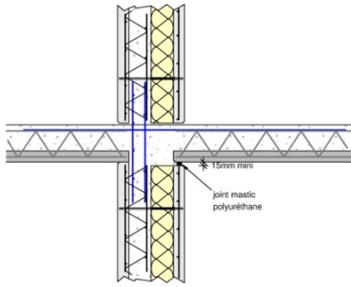


Figure 59 - Liaison Thermacofré®/balcon

## 5.3 Prescriptions particulières aux Thermacofrés® essentiellement sollicités perpendiculairement à leur plan.

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

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

La contrainte tangente à l'interface peau/noyau est prise convention-

$$\text{nellement égale à : } \tau_{uc} = 1.1 \times \frac{V_u}{l \times (b_1 + b_n)}$$

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

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

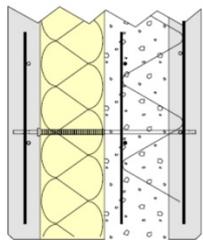


Figure 60 - Repérage des épaisseurs unitaires d'un Thermacofré®

$S_1$  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  $\tau_{uc}$  s'écrit :

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

Cette contrainte peut alors être comparée à la valeur de la contrainte maximale de cisaillement calculée grâce à la méthode présentée au paragraphe 5.23 Prescriptions particulières aux poutres. Si nécessaire des armatures de renfort doivent être mises en place.

### 5.32 Prescriptions particulières aux Thermacofrés® enterrés

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

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

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

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

## 5.33 Prescriptions particulières aux murs de bassin ou de piscines

Ils sont dimensionnés aux états limites ultimes de résistance et aux états limites de service (cas de fissuration très préjudiciable du béton de l'ouvrage).

Les prescriptions du chapitre traitement du plan d'étanchéité sont appliquées : étanchéité par le béton ou membrane d'étanchéité rapportée type liner.

Suivant les articles VI.2.4 et VI.2.7 du Fascicule 74, pour les bassins contenant de l'eau de mer, l'enrobage des armatures proches des parois intérieures des bassins est fixé à 5 cm et le ciment utilisé doit être conforme à la norme NF P 15-317.

Les murs sont encastrés sur le radier par une solution mécanique avec ou sans reprise de bétonnage. Le choix de cette dernière se fera en fonction des contraintes de chantier et de la solution d'étanchéité qui sera retenue.

Pour les ouvrages libres en tête, les liaisons d'angles seront encastrees. Pour les solutions bloquées en tête par une dalle ou des tirants les liaisons d'angle pourront être soit :

- articulées pour les ouvrages dont l'étanchéité n'est pas assurée par le béton seul,
- couturées ou encastrees pour les ouvrages dont l'étanchéité est assurée par le béton seul

Les joints verticaux et horizontaux sont fermés avec un mastic élastique de classement SNJF F 25 E

apte à résister aux pressions hydrostatiques.

Dans le cas d'un contact avec de l'eau potable, les joints sont fermés avec un mastic élastique de classement SNJF F 25 E apte à résister aux pressions hydrostatiques et ayant un agrément d'alimentarité.

Le joint horizontal entre le mur et le radier peut présenter une engravure afin de traiter efficacement le contact béton préfabriqué / béton coulé en place

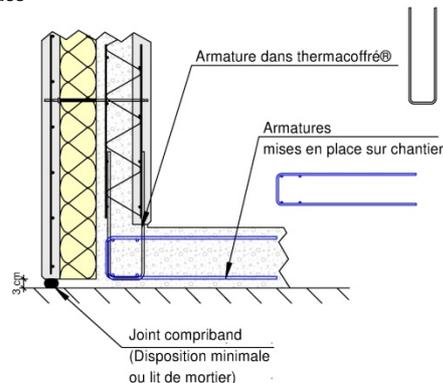


Figure 61 - Engravure à la liaison entre le mur et le radier

Prescriptions particulières pour les murs de bassins de forme polygonale

Ils sont calculés sur les mêmes bases que les murs de bassin ou piscine.

Lorsque l'angle entre les facettes est supérieur ou égal à  $165^\circ$ , l'incidence des facettes est négligeable. Les efforts de tractions horizontaux n'entraînent pas de phénomènes secondaires au niveau des joints verticaux. L'ensemble des sollicitations sont déterminées comme pour un bassin de forme circulaire encastree en pied.

Lorsque l'angle entre les facettes est inférieur à  $165^\circ$ , des moments de flexion horizontaux secondaires se développent en partie courante de murs et dans les angles des facettes. Les efforts sont alors déterminés par une modélisation du bassin en facettes et sont pris en compte dans la justification des aciers courants et des aciers de liaisons.

## 6. Conditions de fabrication.

### 6.1 Fabrication

Les Thermacofrés® sont fabriqués en usine. 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 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 de 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.

## 6.2 Contrôle de fabrication

### 6.2.1 Contrôle des bétons

Les bétons destinés à la fabrication du Thermacoffrés® font l'objet d'un contrôle régulier conformément à la NF EN 206-1.

### 6.2.2 Contrôle des raidisseurs

Les raidisseurs sont certifiés par un organisme extérieur.

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 (AT3/07-529)	BDW-KT 800 (AT3/04-432)
Ø Membrane sup.(mm)	7	7	8
Ø membranes Inf.(mm)	5	5	5
Ø Diagonales (mm)	5	5	5

### 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.

L'ensemble des contrôles est réalisé d'après la NF EN 14992 et le référentiel CSTBat

## 6.3 Caractéristiques dimensionnelles et tolérances.

Les panneaux en Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés® 16, 18, 20, 22, 24, 25, 30,34, 36, 40, 45, 50 cm.

Tolérances dimensionnelles : conforme aux prescriptions du référentiel CSTBat.

Tolérances enrobage des armatures : -2/0 mm.

**Tableau 7 - Tolérances dimensionnelles de fabrication**

Mesures sur le produit	Tolérances
Longueur sur deux côtés < 3m de 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Largeur sur deux côtés < 3m de 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Equerrage et diagonales < 3m de 3 à 6 m > 6 m	± 5 mm ± 6 mm ± 8 mm
Épaisseur de la 1 <sup>ère</sup> paroi coulée (deux mesures en pied, en tête et à mi-hauteur) soit 6 mesures	Moyenne des mesures ± 3 mm Chaque valeur individuelle ± 6 mm
Épaisseur de la 2 <sup>ème</sup> paroi coulée (deux mesures en pied, en tête et à mi-hauteur) soit 6 mesures	Moyenne des mesures ± 3 mm Chaque valeur individuelle ± 6 mm
Épaisseur du mur à coffrage intégré (deux mesures en pied, en tête et à mi-hauteur) soit 6 mesures	Moyenne des mesures ± 3 mm Chaque valeur individuelle ± 6 mm
Positionnement des ouvertures et des inserts	± 10 mm
Rectitude des arêtes	± 4 mm
Planéité (règle de 3m)	5 mm
Décalage des parois dans la longueur (une mesure à l'équerre aux quatre coins)	± 5 mm
Décalage des parois dans la largeur (une mesure à l'équerre aux quatre coins)	± 5 mm

## 6.4 Finitions et Aspect.

Tous les panneaux présentent une surface brute de décoffrage.

### 6.4.1 Planéité

La planéité est conforme aux prescriptions de la certification CSTBat.

### 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%.

### 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 du Thermacoffrés® est le gris clair, avec un écart admis de type T(2) suivant la NF P 18-503.

## 6.5 Condition de manutention et transport.

### 6.51 Prescriptions concernant la manutention

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

## 7. Prescriptions concernant le transport des panneaux en Thermacoffré.

En fonction de leurs dimensions et de leur destination, les Thermacoffrés® sont conditionnés verticalement dans des :

- conteneurs
- conteneurs auto-déchargeables nommés conteneurs araignés
- plateforme auto-déchargeables nommées plateforme

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

### 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.

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

Le stockage à plat est à proscrire.

## 8. Condition de mise en œuvre

Au moment de la rédaction du présent Avis Technique, les conditions de sécurité de mise en œuvre font l'objet d'un projet de document de l'INRS intitulé « Prescriptions minimales à intégrer dans la conception du procédé constructif MCI pour une mise en œuvre en sécurité ». Les prescriptions suivantes seront donc susceptibles d'être modifiées après sa publication.

### 8.1 Equipements nécessaires à la pose.

Liste des équipements nécessaires à la pose des Thermacoffrés® :

- 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.

### 8.2 Dimensionnement des lests et étais de stabilisation provisoire

La stabilité des Thermacoffrés®, 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 Thermacoffrés® 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).

### 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.

## 8.4 Réception du chargement et réalisation du déchargement.

Vérifier la stabilité de tous les Thermacoffrés® (chaque Thermacoffré® 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. 6.51)

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

Accrocher les élingues au Thermacoffré® puis enlever le dispositif de maintien du mur au conteneur.

Décharger les Thermacoffrés®.

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

### 8.5 Pose des Thermacoffrés® de hauteur courante.

La pose des Thermacoffrés®, doit être conforme au plan général de pose fourni par le préfabricant.

1. Décharger le Thermacoffré®.
2. Poser le Thermacoffré® sur les cales.
3. Stabiliser le mur avec les étais tirant-poussant qui sont ancrés aux douilles M16 du Thermacoffrés® 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 Thermacoffré® est stable.
5. Les armatures de liaison peuvent être insérées avant ou après la pose du Thermacoffrés® 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 comprimés 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 comprimé peut être remplacé par l'injection de mousse polyuréthane après la pose.
9. Poser le Thermacoffrés® suivant avec le joint prévu sur le plan de pose. Le joint entre deux Thermacoffrés® 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

### 8.6 Pose des Thermacoffrés® de hauteur > 3,80 m

Le Thermacoffré® est livré verticalement sur chant.

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

Le levage du Thermacoffré® est effectué comme suit:

- Accrocher le Thermacoffré® sur le grand côté,
- Poser le Thermacoffré® 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 boucles situées sur le petit côté du Thermacoffré®,
- Redresser le Thermacoffré®,
- Finir la pose comme en 8.5 page 28

### 8.7 Bétonnage.

Avant bétonnage il conviendra de :

- humidifier les parois coffrantes du Thermacoffré®

- 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 5.18.

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. 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 25cm.

La vitesse de bétonnage courante ne doit pas excéder les prescriptions du paragraphe 5.182 page 17. 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 encastrées 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.

## 8.8 Tolérances de pose du Thermacoffré®

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

Tolérances relative à un niveau

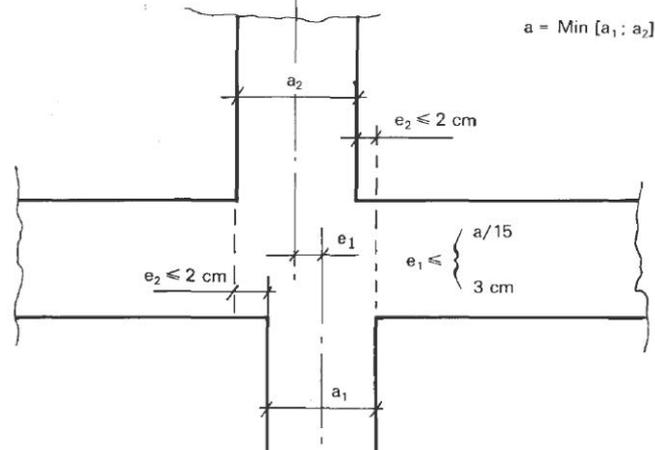
La tolérance admise sur la distance entre deux murs est de  $\pm 2$  cm

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 Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés® de part et d'autre d'un plancher ne doit pas dépasser 2 cm.

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



## 9. Etanchéité-traitement des joints

### 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.

### 9.2 Murs courants superstructure

#### 9.21 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.

#### 9.211 Murs de façade revêtus

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

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.

### 9.212 Murs de façade bruts de fabrication, peints ou lasurés

Les Thermacoffrés® 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 on 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 traité 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.

### 9.213 Murs de façade enduits

#### *Cas des enduits hydrauliques*

Les Thermacoffrés® traités à l'aide d'un enduit hydraulique doivent faire l'objet des mêmes traitements de joint que les Thermacoffrés® 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 Thermacoffrés® 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.

### 9.22 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.

## 9.3 Murs courants en infrastructure

### 9.31 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.

### 9.32 Paroi extérieure soumise à pression hydrostatique

Dans ce cas de figure les joints sont revêtus avec des bandes SIKADUR COMBIFLEX ou toutes bandes d'étanchéité pour joint à haute flexibilité. En partie courante la paroi est traitée avec un revêtement bitumineux épais.

### 9.33 Paroi intérieure

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

## 10. Conditions d'exploitation du procédé.

### 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.

dé. 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.

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.

## 10.2 Fabrication

La fabrication est réalisée dans des usines suivantes :

- Buerkle Bétonwerk Heideweg 8 D-77880 SASBACH,
- Beton-Betz GMBH Rappenauer strasse 46 D-74912 KIRCHARDT,
- CDLP rue de la Gache F- 38530 Barraux,
- Préfifax Kasteelstraat 9 B-8980 Geluveld,
- SAPB quartier les Fauries 05230 La Bâtie Neuve.

## B. Résultats expérimentaux et études

- 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®-appréciation de laboratoire CSTB le 31/08/2010.
- Vérification des connecteurs de liaison dans les panneaux Thermacoffré® par CSTB le 10/10/2011
- Etude expérimentale du comportement au feu du mur Thermacoffré® - Appréciation de laboratoire – CSTB le 20/05/2012

## C. Références

- Maison d'arrêt de Roanne (Eiffage) 14000 m<sup>2</sup> de panneaux à voiles librements dilatables (7000 m<sup>2</sup> de Thermacoffré® + 7000 m<sup>2</sup> de panneaux sandwich) réalisé avec le connecteur Thermomass. Le plus grand Thermacoffré® avait une hauteur de 10,75 sans joint de fractionnement. *Fabrication usine SAPB.*
- 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.*
- Maison d'arrêt de Béziers (Eiffage) 14000 m<sup>2</sup> de panneaux sandwich réalisé avec le connecteur Thermomass. *Fabrication usine SAPB*
- Maison d'arrêt de Bourg en Bresse (GFC-DV Constructions) 5000 m<sup>2</sup> de Thermacoffrés®. *Fabrication usine SAPB + Buerkle.*

- Maison d'arrêt de Nancy (Eiffage) 2000 m<sup>2</sup> de 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 Préfifax*
- 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>.

## 11. Annexe 1 : Poutres voiles incorporées aux Thermacoffrés®

### 11.1 Détermination des efforts sollicitants

#### 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.

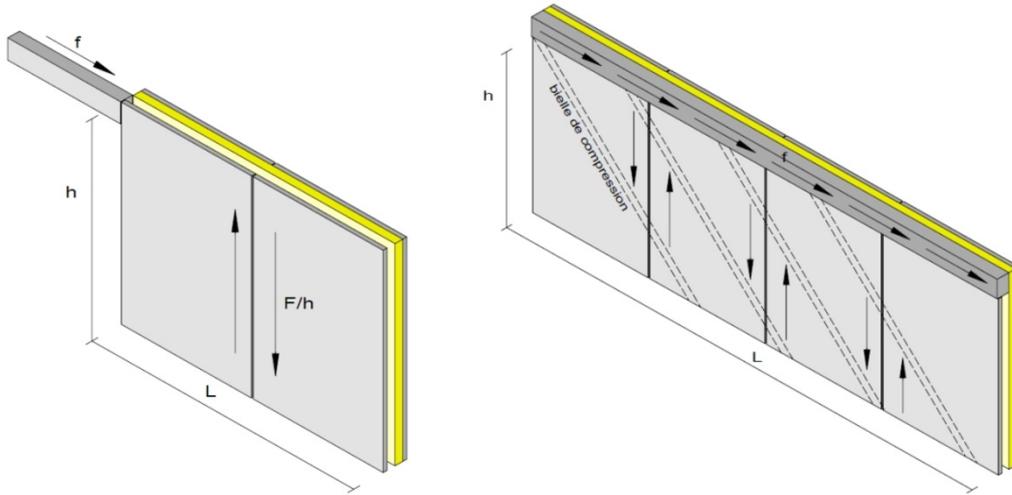


Figure 62 - Effort sollicitant dans le cas d'un contreventement

#### 11.1.1.1 Poutre voile

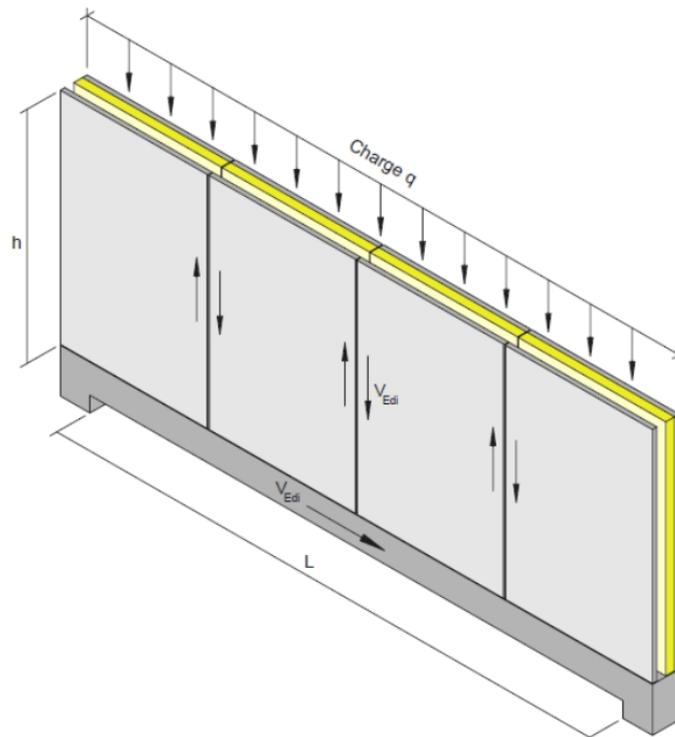


Figure 63 - Effort sollicitant dans le cas d'une poutre-voile

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

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

## 12. Annexe 2 : Principe de calcul des efforts résistants des joints entre Thermacoffrés®

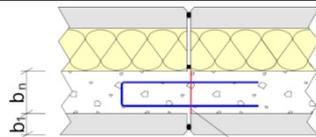


Figure 64 - Chemin de rupture 1

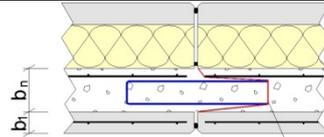


Figure 65 - Chemin de rupture 2

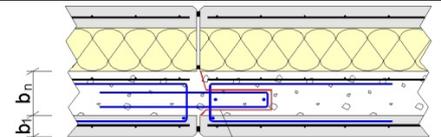


Figure 66 - Chemin de rupture 3

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 l'EN 1992-1-1 paragraphe 6.2.5, c'est à dire une surface réalisée à l'aide de coffrage glissant ou surface extrudée ou surface non coffrée laissée sans traitement ultérieur après vibration.

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 :

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

Pour le plan de rupture 3 :

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

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

### 13. Annexe 3 : Exemple de calcul de $\rho_a$

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire, type Treillis Warren

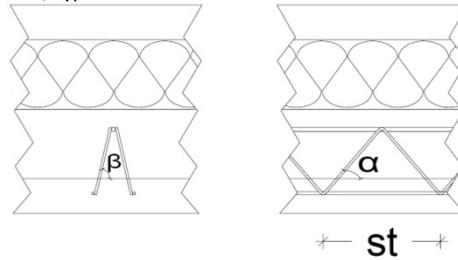


Figure 67 - Géométrie des raidisseurs type treillis Warren

$$\rho_a = \rho_{a'} = (2 \times A_d \times \sin \beta) / (st \times e)$$

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 = 60cm
- Diagonales  $\varnothing$  5 mm
- Pas de la sinusoïde  $st = 20$ cm
- $\beta = 86^\circ$ , soit  $\sin \beta = 0.997$

On obtient  $\rho_a = \rho_{a'} = 0.0326$  %

Avec les raidisseurs courants de section triangulaire avec double sinusoïde

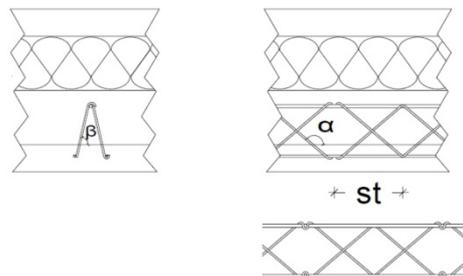


Figure 68 – Géométrie des raidisseurs double sinusoïde

$$\rho_a = \rho_{a'} = (2 \times A_d \times \sin \beta) / (st \times e)$$

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 = 60cm
- Diagonales  $\varnothing$  6 mm
- Pas de la sinusoïde  $st = 30$ cm
- $\beta = 86^\circ$ , soit  $\sin \beta = 0.997$

On obtient  $\rho_a = \rho_{a'} = 0.0313$  %

## 14. Annexe 4 : Exemple de calcul de $\tau_{ulim}$

Le cisaillement admissible  $\tau_{ulim}$  à l'interface béton préfabriqué/béton coulé en place (cf 5.23 et 5.31)° 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 ( $\alpha_{cc} \cdot f_{c,n} / \gamma_c$ )

$f_{ctd}$  : valeur de calcul de la résistance en traction du béton de remplissage ( $\alpha_{ct} \cdot f_{t,n} / \gamma_c$ )

$f_t = \text{Min} (f_{yk} / \gamma_s ; R / (A_d \cdot \gamma_s))$

$f_{yk}$  = limite caractéristique d'élasticité des aciers

R : résistance des soudures

$A_d$  = section d'une diagonale du raidisseur treillis

$v = 0,6 \cdot (1 - f_{c,n} / 250)$

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  $f_{c,n} = 25$  MPa,  $f_{cd} = 16,7$  MPa et  $f_{ctd} = 1,20$  MPa
  - pour des raidisseurs de section triangulaire, type treillis Warren, espacés de 60cm, avec  $f_{yk} = 500$  MPa,  $R = 980$ daN dont les caractéristiques géométriques sont les suivantes :  $\varnothing_{diagonales} = 5$  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,  $f_t = \text{Min} (f_{yk} / \gamma_s ; R / (A_d \cdot \gamma_s)) = \text{Min} (500/1,15 ; 9800 / (1,15 \cdot \pi \cdot 5^2 / 4)) = 434$  MPa.

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

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

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

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

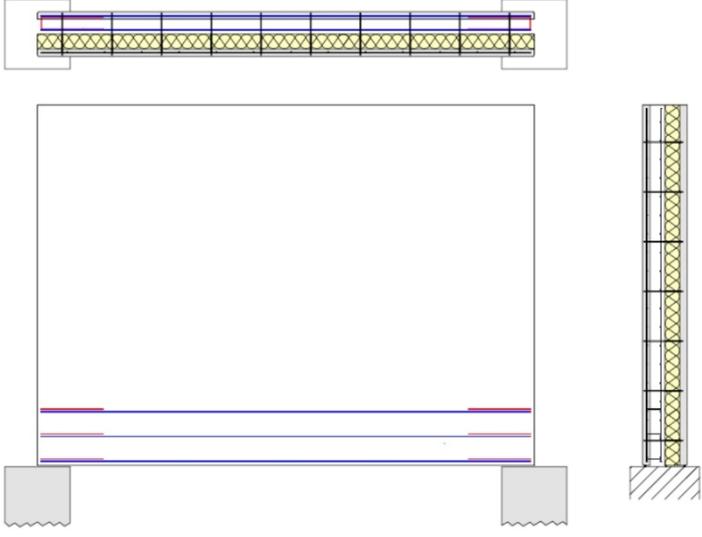
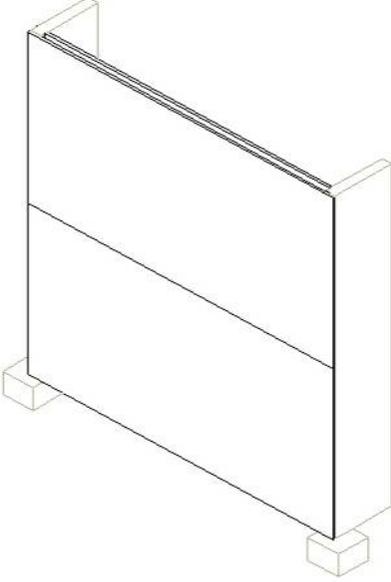
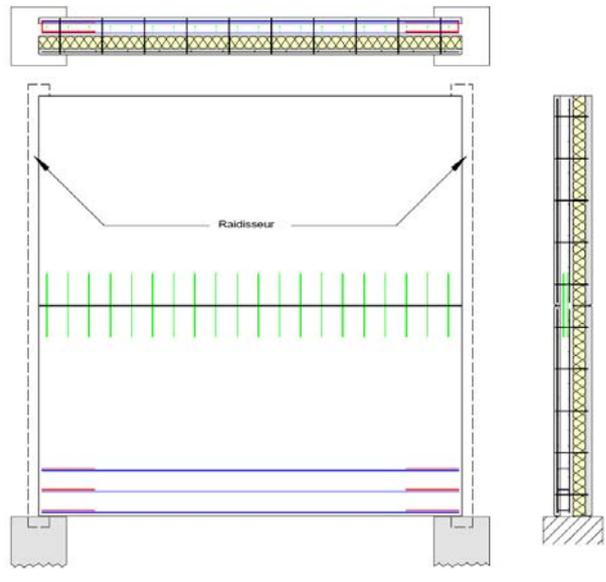
On a donc :

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

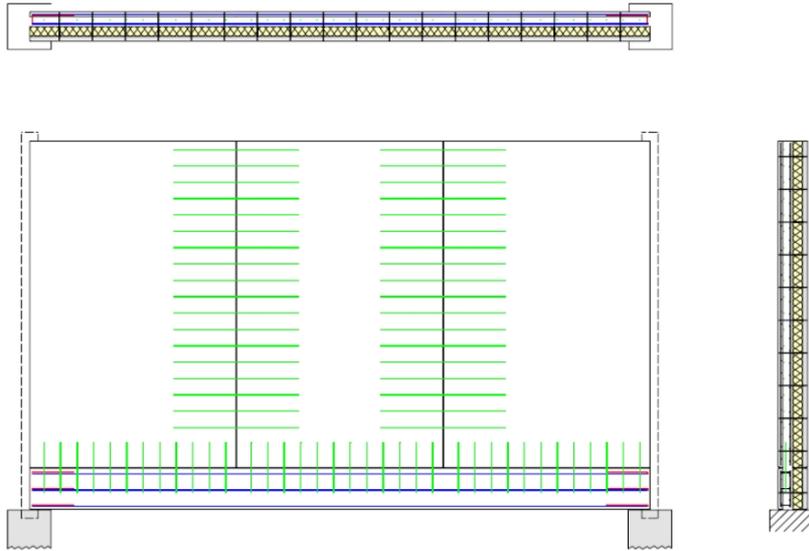
En resserrant les armatures suivant un espacement de 50 cm, le pourcentage d'armature est alors  $\rho = 0,0392\%$ . la valeur admissible de cisaillement à l'interface devient :

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

## 15. Annexe 5 : Principe de conception des poutres voiles réalisées en Thermacoffrés®

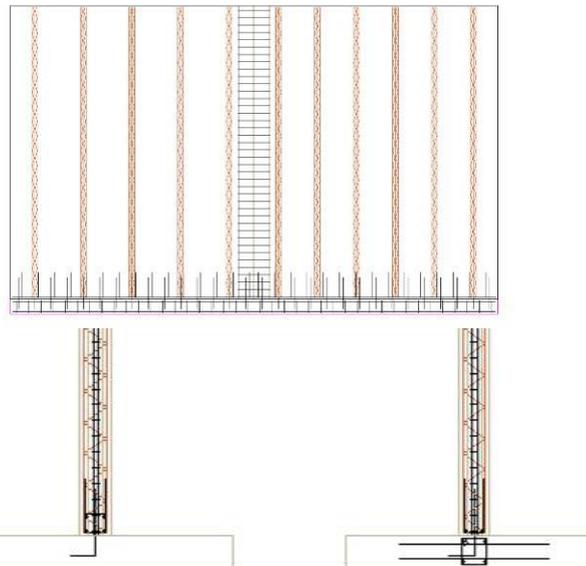
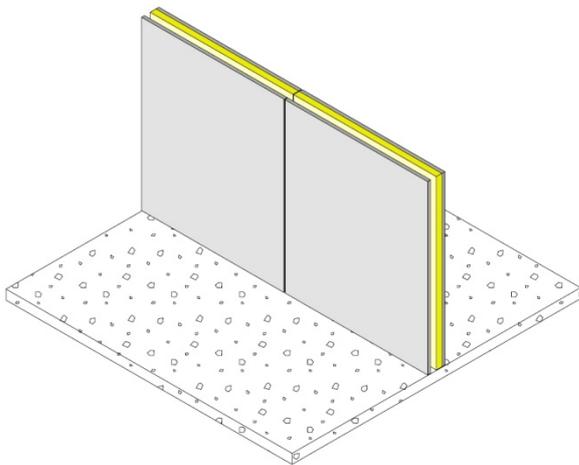
<i>Cas 1</i>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Poutre voile réalisée en un seul tenant, avec intégration complète du tirant dans le Thermacoffrés®</li><li>- Cette solution ne nécessite pas de vérifications particulières étant donné l'absence de joints hormis la vérification du déversement si nécessaire.</li><li>- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation</li></ul>	
<i>Cas 2</i>	
	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Poutre voile réalisée avec plusieurs Thermacoffrés® superposés.</li><li>- Cette solution nécessite la vérification du joint à l'effort tranchant</li><li>- Le type de liaison est choisi en fonction de l'effort à reprendre</li><li>- Prévoir un calage de 3 cm minimum sur les plots de fondation</li><li>- Observation : ce type de configuration nécessite la présence de raidisseurs aux extrémités de la poutre voile</li></ul>	

### Cas 3



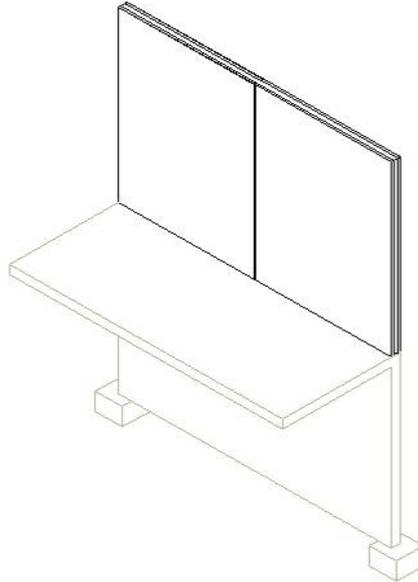
- Poutre voile en plusieurs parties
- La zone du tirant est réalisée de manière traditionnelle ou à l'aide d'une pièce préfabriquée, la zone supérieure est constituée de Thermacoffrés®
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de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

### Cas 4



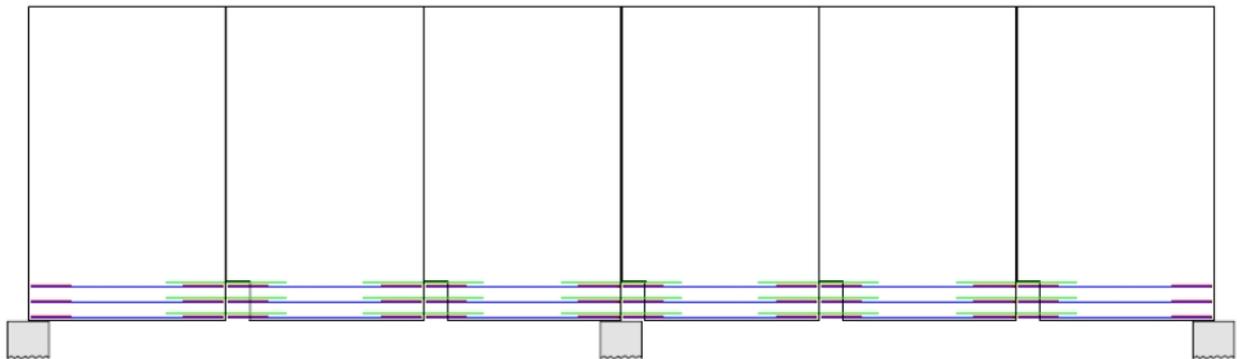
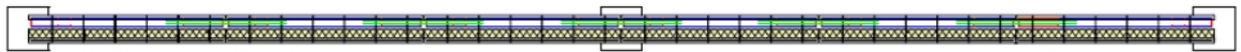
- Poutre voile reprenant la dalle inférieure.
- Le tirant de la poutre voile est disposé dans l'épaisseur de la dalle ou dans la partie inférieure de Thermacoffrés®.
- Ce type de configuration nécessite la vérification de la résistance des joints à l'effort tranchant.
- Les types de liaisons sont choisis 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 Thermacoffrés®.
- 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 Thermacoffrés® avec continuité sur une ou plusieurs travées
- Les tirants de la poutre voile sont intégrés en partie inférieure et supérieure des Thermacoffrés®, 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

## 16. Annexe 6: Dimensionnement à l'ELU standard des connecteurs disposés à 45°

**Tableau 8 - Calcul aux ELU de la densité linéique de connecteurs TM 45° pour les Thermacoffrés® de grande longueur en fonction de la hauteur et de la longueur du panneau (nombre de connecteurs par ml de longueur de panneau)**

Hauteur du Thermacoffré			Ep. Paroi			x =			ei = épaisseur de l'isolant					
1,00 m			0,06 m			0,25 m								
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 Thermacoffré			Ep. Paroi			x =			ei = épaisseur de l'isolant					
2,50 m			0,06 m			0,25 m								
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 Thermacoffré			Ep. Paroi=			X 45° =			ei = épaisseur de l'isolant					
3,00 m			0,06 m			0,25 m								
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 9 - Calcul aux ELU de la densité linéique de connecteurs TM 45° pour les Thermacoffrés® de grande hauteur en fonction de la hauteur et de largeur du panneau (nombre de connecteurs par ml de largeur de panneau)**

Largeur du Thermacoffré		3,80 m		Ep. Paroi			0,06 m			x=			0,25 m			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 Thermacoffré		3,00 m		Ep. Paroi			0,06 m			x=			0,25 m			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 Thermacoffré		2,50 m		Ep. Paroi			0,06 m			x=			0,25 m			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						

## 17. Annexe 7: Réglementation Sismique

### 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

Tableau 10 - Accélération sismiques horizontales

Valeur de l'accélération sismique horizontale $\gamma = k \times \gamma_1 \times a_{gr} \times S$ en m/s <sup>2</sup>					
$k = 2,75$	Classe de sol	Catégorie d'importance de bâtiment			
		I	II	III	IV
Zone de sismicité 2	A	1,54	1,93	2,31	2,70
	B	2,08	2,60	3,12	3,64
	C	2,31	2,89	3,47	4,04
	D	2,46	3,08	3,70	4,31
	E	2,77	3,47	4,16	4,85
Zone de sismicité 3	A	2,42	3,03	3,63	4,24
	B	3,27	4,08	4,90	5,72
	C	3,63	4,54	5,45	6,35
	D	3,87	4,84	5,81	6,78
	E	4,36	5,45	6,53	7,62
Zone de sismicité 4	A	3,52	4,40	5,28	6,16
	B	4,75	5,94	7,13	8,32
	C	5,28	6,60	7,92	9,24
	D	5,63	7,04	8,45	9,86
	E	6,34	7,92	9,50	11,09
Zone de sismicité 5	A	6,60	8,25	9,90	11,55
	B	7,92	9,90	11,88	13,86
	C	7,59	9,49	11,39	13,28
	D	8,91	11,14	13,37	15,59
	E	9,24	11,55	13,86	16,17

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

La force sismique verticale est estimée à 0,8 (zone 1 à 4) et 0,9 (zone 5) la force horizontale

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

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

Tableau 11 - Hypothèses de calcul des connecteurs pour un Thermacoffré® avec isolant 14 cm, paroi extérieure 6 cm

Données géométriques	unité	valeur
épaisseur du voile librement dilatable	cm	6
épaisseur de la lame isolante	cm	14
jeu nominal entre voiles	cm	1,5
tolérance de fabrication	cm	0,5
tolérance de pose	cm	0
jeu toutes tolérances épuisées	cm	1
déplacement limite du voile	cm	0,75
<b>Caractéristiques mécaniques</b>		
raideur en cisaillement (global) des connecteurs droits	kN/m	13,62
raideur en cisaillement (global) des connecteurs à 45°	kN/m	202,03
résistance caractéristique en cisaillement statique (fractile 5%)	kN	0,43
résistance caractéristique en cisaillement dynamique (fractile 5%)	kN	0,17
coefficient de sécurité en cisaillement dynamique	adim	1,00
résistance de calcul en cisaillement dynamique	kN	0,17
résistance caractéristique en traction statique (fractile 5%)	kN	13,60
coefficient de sécurité en traction statique	adim	2,40
résistance de calcul en traction statique	kN	5,67
résistance caractéristique en traction dynamique (fractile 5%)	kN	5,44
coefficient de sécurité en traction dynamique	adim	2,00
résistance de calcul en traction dynamique	kN	2,72
<b>Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU standard</b>	connecteurs/m <sup>2</sup>	0,51
Coefficient d'accélération verticale zone 1 à 4		0,8
Coefficient d'accélération verticale zone 5		0,9

(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

**Tableau 12 - Nombre de connecteurs TM 45° - ligne horizontale, sollicitations verticales - Hypothèses Thermacoffré® : Isolant 14 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	0,89	0,92	0,94	0,97	2	A	0,14	0,17	0,21	0,24
	B	0,93	0,96	1,00	1,04		B	0,19	0,23	0,28	0,32
	C	0,94	0,98	1,02	1,06		C	0,21	0,26	0,31	0,36
	D	0,95	1,00	1,04	1,08		D	0,22	0,27	0,33	0,38
	E	0,97	1,02	1,07	1,12		E	0,25	0,31	0,37	0,43
3	A	0,95	0,99	1,03	1,08	3	A	0,22	0,27	0,32	0,38
	B	1,01	1,07	1,12	1,18		B	0,29	0,36	0,44	0,51
	C	1,03	1,10	1,16	1,23		C	0,32	0,40	0,49	0,57
	D	1,05	1,12	1,19	1,26		D	0,34	0,43	0,52	0,60
	E	1,09	1,16	1,24	1,31		E	0,39	0,49	0,58	0,68
4	A	1,03	1,09	1,15	1,21	4	A	0,31	0,39	0,47	0,55
	B	1,11	1,20	1,28	1,36		B	0,42	0,53	0,64	0,74
	C	1,15	1,24	1,34	1,43		C	0,47	0,59	0,71	0,82
	D	1,18	1,27	1,37	1,47		D	0,50	0,63	0,75	0,88
	E	1,22	1,34	1,45	1,56		E	0,56	0,71	0,85	0,99
5	A	1,29	1,42	1,55	1,68	5	A	0,65	0,82	0,98	1,14
	B	1,40	1,55	1,71	1,86		B	0,78	0,98	1,18	1,37
	C	1,37	1,52	1,67	1,82		C	0,75	0,94	1,13	1,31
	D	1,47	1,65	1,82	2,00		D	0,88	1,10	1,32	1,54
	E	1,50	1,68	1,86	2,04		E	0,91	1,14	1,37	1,60

**Tableau 13 - Nombre de connecteurs TM 90° - sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacofré® : 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	1,35	1,69	2,03	2,37	2	A	2,26	2,83	3,39	3,96
	B	1,82	2,28	2,74	3,19		B	3,05	3,82	4,58	5,34
	C	2,03	2,53	3,04	3,54		C	3,39	4,24	5,10	5,93
	D	2,16	2,70	3,24	3,78		D	3,61	4,52	5,43	6,33
	E	2,43	3,04	3,65	4,25		E	4,07	5,10	6,11	7,12
3	A	2,12	2,66	3,18	3,72	3	A	3,55	4,45	5,33	6,23
	B	2,87	3,58	4,30	5,01		B	4,80	5,99	7,19	8,40
	C	3,18	3,98	4,78	5,57		C	5,33	6,67	8,00	9,32
	D	3,39	4,24	5,09	5,94		D	5,68	7,11	8,53	9,96
	E	3,82	4,78	5,73	6,68		E	6,40	8,00	9,59	11,19
4	A	3,09	3,86	4,63	5,40	4	A	5,17	6,46	7,75	9,04
	B	4,16	5,21	6,25	7,29		B	6,97	8,72	10,47	12,22
	C	4,63	5,79	6,94	8,10		C	7,75	9,69	11,63	13,57
	D	4,94	6,17	7,41	8,64		D	8,27	10,34	12,41	14,48
	E	5,56	6,94	8,33	9,72		E	9,31	11,63	13,95	16,28
5	A	5,79	7,23	8,68	10,13	5	A	9,69	12,11	14,54	16,96
	B	6,94	8,68	10,42	12,15		B	11,63	14,54	17,44	20,35
	C	6,65	8,32	9,99	11,64		C	11,14	13,93	16,72	19,50
	D	7,81	9,77	11,72	13,67		D	13,08	16,36	19,63	22,89
	E	8,10	10,13	12,15	14,18		E	13,57	16,96	20,35	23,74

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

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	0,12	0,15	0,18	0,21	2	A	0,15	0,19	0,23	0,27
	B	0,16	0,20	0,24	0,28		B	0,21	0,26	0,31	0,36
	C	0,18	0,23	0,27	0,32		C	0,23	0,29	0,34	0,40
	D	0,19	0,24	0,29	0,34		D	0,24	0,30	0,37	0,43
	E	0,22	0,27	0,32	0,38		E	0,27	0,34	0,41	0,48
3	A	0,19	0,24	0,28	0,33	3	A	0,24	0,30	0,36	0,42
	B	0,26	0,32	0,38	0,45		B	0,32	0,40	0,49	0,57
	C	0,28	0,35	0,43	0,50		C	0,36	0,45	0,54	0,63
	D	0,30	0,38	0,45	0,53		D	0,38	0,48	0,58	0,67
	E	0,34	0,43	0,51	0,59		E	0,43	0,54	0,65	0,75
4	A	0,27	0,34	0,41	0,48	4	A	0,35	0,44	0,52	0,61
	B	0,37	0,46	0,56	0,65		B	0,47	0,59	0,71	0,82
	C	0,41	0,51	0,62	0,72		C	0,52	0,65	0,78	0,91
	D	0,44	0,55	0,66	0,77		D	0,56	0,70	0,84	0,98
	E	0,49	0,62	0,74	0,86		E	0,63	0,78	0,94	1,10
5	A	0,51	0,64	0,77	0,90	5	A	0,65	0,82	0,98	1,14
	B	0,62	0,77	0,93	1,08		B	0,78	0,98	1,18	1,37
	C	0,59	0,74	0,89	1,04		C	0,75	0,94	1,13	1,31
	D	0,69	0,87	1,04	1,22		D	0,88	1,10	1,32	1,54
	E	0,72	0,90	1,08	1,26		E	0,91	1,14	1,37	1,60

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

Tableau 15 - Hypothèses de calcul des connecteurs pour un Thermacoffré® avec isolant 16 cm, paroi extérieure 6 cm

<b>Données géométriques</b>	unité	valeur
épaisseur du voile librement dilatable	cm	6
épaisseur de la lame isolante	cm	16
jeu nominal entre voiles	cm	1,5
tolérance de fabrication	cm	0,5
tolérance de pose	cm	0
jeu toutes tolérances épuisées	cm	1
déplacement limite du voile	cm	0,75
<b>Caractéristiques mécaniques</b>		
raideur en cisaillement (global) des connecteurs droits	kN/m	13,62
raideur en cisaillement (global) des connecteurs à 45°	kN/m	202,03
résistance caractéristique en cisaillement statique (fractile 5%)	kN	0,43
résistance caractéristique en cisaillement dynamique (fractile 5%)	kN	0,17
coefficient de sécurité en cisaillement dynamique	adim	1,00
résistance de calcul en cisaillement dynamique	kN	0,17
résistance caractéristique en traction statique (fractile 5%)	kN	13,60
coefficient de sécurité en traction statique	adim	2,40
résistance de calcul en traction statique	kN	5,67
résistance caractéristique en traction dynamique (fractile 5%)	kN	5,44
coefficient de sécurité en traction dynamique	adim	2,00
résistance de calcul en traction dynamique	kN	2,72
<b>Densité minimale des connecteurs à 45° à l'ELU standard</b>	connecteurs/m <sup>2</sup>	0,51
Coefficient d'accélération verticale zone 1 à 4		0,8
Coefficient d'accélération verticale zone 5		0,9

**Tableau 16 - Nombre de connecteurs TM 45°- ligne horizontale, sollicitations verticales - Hypothèses Thermacoffré® : 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	0,89	0,92	0,94	0,97	2	A	0,16	0,20	0,24	0,27
	B	0,93	0,96	1,00	1,04		B	0,21	0,26	0,32	0,37
	C	0,94	0,98	1,02	1,06		C	0,24	0,29	0,35	0,41
	D	0,95	1,00	1,04	1,08		D	0,25	0,31	0,38	0,44
	E	0,97	1,02	1,07	1,12		E	0,28	0,35	0,42	0,49
3	A	0,95	0,99	1,03	1,08	3	A	0,25	0,31	0,37	0,43
	B	1,01	1,07	1,12	1,18		B	0,33	0,42	0,50	0,58
	C	1,03	1,10	1,16	1,23		C	0,37	0,46	0,55	0,65
	D	1,05	1,12	1,19	1,26		D	0,39	0,49	0,59	0,69
	E	1,09	1,16	1,24	1,31		E	0,44	0,55	0,66	0,78
4	A	1,03	1,09	1,15	1,21	4	A	0,36	0,45	0,54	0,63
	B	1,11	1,20	1,28	1,36		B	0,48	0,60	0,73	0,85
	C	1,15	1,24	1,34	1,43		C	0,54	0,67	0,81	0,94
	D	1,18	1,27	1,37	1,47		D	0,57	0,72	0,86	1,00
	E	1,22	1,34	1,45	1,56		E	0,65	0,81	0,97	1,13
5	A	1,29	1,42	1,55	1,68	5	A	0,75	0,93	1,12	1,31
	B	1,40	1,55	1,71	1,86		B	0,90	1,12	1,34	1,57
	C	1,37	1,52	1,67	1,82		C	0,86	1,07	1,29	1,50
	D	1,47	1,65	1,82	2,00		D	1,01	1,26	1,51	1,76
	E	1,50	1,68	1,86	2,04		E	1,05	1,31	1,57	1,83

**Tableau 17 - Nombre de connecteurs TM 90°- sollicitations horizontales - 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	1,54	1,93	2,31	2,70	2	A	3,38	4,23	5,06	5,92
	B	2,08	2,60	3,12	3,65		B	4,56	5,70	6,84	7,98
	C	2,31	2,89	3,48	4,05		C	5,06	6,33	7,61	8,85
	D	2,46	3,08	3,71	4,32		D	5,39	6,75	8,11	9,45
	E	2,77	3,48	4,17	4,86		E	6,07	7,61	9,12	10,63
3	A	2,42	3,03	3,64	4,25	3	A	5,30	6,64	7,96	9,29
	B	3,27	4,09	4,91	5,73		B	7,17	8,94	10,74	12,54
	C	3,64	4,55	5,46	6,36		C	7,96	9,95	11,95	13,92
	D	3,88	4,85	5,82	6,79		D	8,48	10,61	12,73	14,86
	E	4,37	5,46	6,54	7,63		E	9,56	11,95	14,31	16,70
4	A	3,53	4,41	5,29	6,17	4	A	7,72	9,64	11,57	13,50
	B	4,76	5,95	7,14	8,33		B	10,41	13,02	15,63	18,24
	C	5,29	6,61	7,93	9,25		C	11,57	14,47	17,36	20,25
	D	5,64	7,05	8,46	9,87		D	12,34	15,43	18,52	21,61
	E	6,35	7,93	9,51	11,11		E	13,90	17,36	20,82	24,31
5	A	6,61	8,26	9,92	11,57	5	A	14,47	18,08	21,70	25,32
	B	7,93	9,92	11,90	13,88		B	17,36	21,70	26,04	30,38
	C	7,60	9,50	11,41	13,30		C	16,64	20,80	24,96	29,11
	D	8,92	11,16	13,39	15,61		D	19,53	24,42	29,30	34,17
	E	9,25	11,57	13,88	16,19		E	20,25	25,32	30,38	35,44

**Tableau 18 - Nombre de connecteurs TM 45° - 2 lignes verticales de direction opposée, sollicitations horizontales - Hypothèses Thermacoffré® : Isolant 16 cm, paroi ext. 6 cm.**

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	0,12	0,15	0,18	0,21	2	A	0,17	0,22	0,26	0,31
	B	0,16	0,20	0,24	0,28		B	0,24	0,29	0,35	0,41
	C	0,18	0,23	0,27	0,32		C	0,26	0,33	0,39	0,46
	D	0,19	0,24	0,29	0,34		D	0,28	0,35	0,42	0,49
	E	0,22	0,27	0,32	0,38		E	0,31	0,39	0,47	0,55
3	A	0,19	0,24	0,28	0,33	3	A	0,27	0,34	0,41	0,48
	B	0,26	0,32	0,38	0,45		B	0,37	0,46	0,55	0,65
	C	0,28	0,35	0,43	0,50		C	0,41	0,51	0,62	0,72
	D	0,30	0,38	0,45	0,53		D	0,44	0,55	0,66	0,77
	E	0,34	0,43	0,51	0,59		E	0,49	0,62	0,74	0,86
4	A	0,27	0,34	0,41	0,48	4	A	0,40	0,50	0,60	0,70
	B	0,37	0,46	0,56	0,65		B	0,54	0,67	0,81	0,94
	C	0,41	0,51	0,62	0,72		C	0,60	0,75	0,90	1,05
	D	0,44	0,55	0,66	0,77		D	0,64	0,80	0,96	1,12
	E	0,49	0,62	0,74	0,86		E	0,72	0,90	1,07	1,25
5	A	0,51	0,64	0,77	0,90	5	A	0,75	0,93	1,12	1,31
	B	0,62	0,77	0,93	1,08		B	0,90	1,12	1,34	1,57
	C	0,59	0,74	0,89	1,04		C	0,86	1,07	1,29	1,50
	D	0,69	0,87	1,04	1,22		D	1,01	1,26	1,51	1,76
	E	0,72	0,90	1,08	1,26		E	1,05	1,31	1,57	1,83

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

## 18. Annexe 8. Détermination de la température dans les Thermacoffré®

Suivant hypothèse DTU

Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 60 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 - hypothèses de calcul DTU.																
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	884	780	691	542	337	216	142	102	90						
	15	883	780	690	541	336	212	134	86	59	45					
	18	883	780	690	541	336	212	133	85	55	34	28				
	20	883	780	690	541	336	212	133	84	55	33	25	23			
	23	883	780	690	541	336	212	133	84	55	33	24	22	20		
	25	883	780	690	541	336	212	133	84	55	33	24	22	21	20	
	30	883	780	690	541	336	212	133	84	55	33	24	22	20	20	20

Tableau 19- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 60 minutes – Hypothèses de calcul DTU

Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 - hypothèses de calcul DTU.																
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	962	869	786	647	442	312	232	187	173						
	15	962	867	784	643	434	299	208	149	112	93					
	18	962	867	784	643	433	296	204	141	99	63	52				
	20	962	867	784	643	433	296	204	140	97	58	41	38			
	23	962	867	784	643	433	296	204	140	96	57	37	30	27		
	25	962	867	784	643	433	296	204	140	96	56	36	29	24	23	
	30	962	867	784	643	433	296	204	140	96	56	36	29	23	22	21

Tableau 20- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 90 minutes – Hypothèses de calcul DTU

Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 120 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 - hypothèses de calcul DTU.																
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	1015	929	853	723	527	396	314	269	254						
	15	1014	926	848	714	510	369	274	210	170	149					
	18	1014	925	847	712	506	363	264	193	144	101	87				
	20	1014	925	847	712	505	362	262	190	139	90	66	62			
	23	1014	925	847	712	505	362	261	189	137	85	56	45	40		
	25	1014	925	847	712	505	362	261	189	137	85	54	42	33	32	
	30	1014	925	847	712	505	362	261	189	137	84	54	41	30	26	23

Tableau 21- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 120 minutes – Hypothèses de calcul DTU

#### Suivant hypothèses Eurocodes

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 22- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 60 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

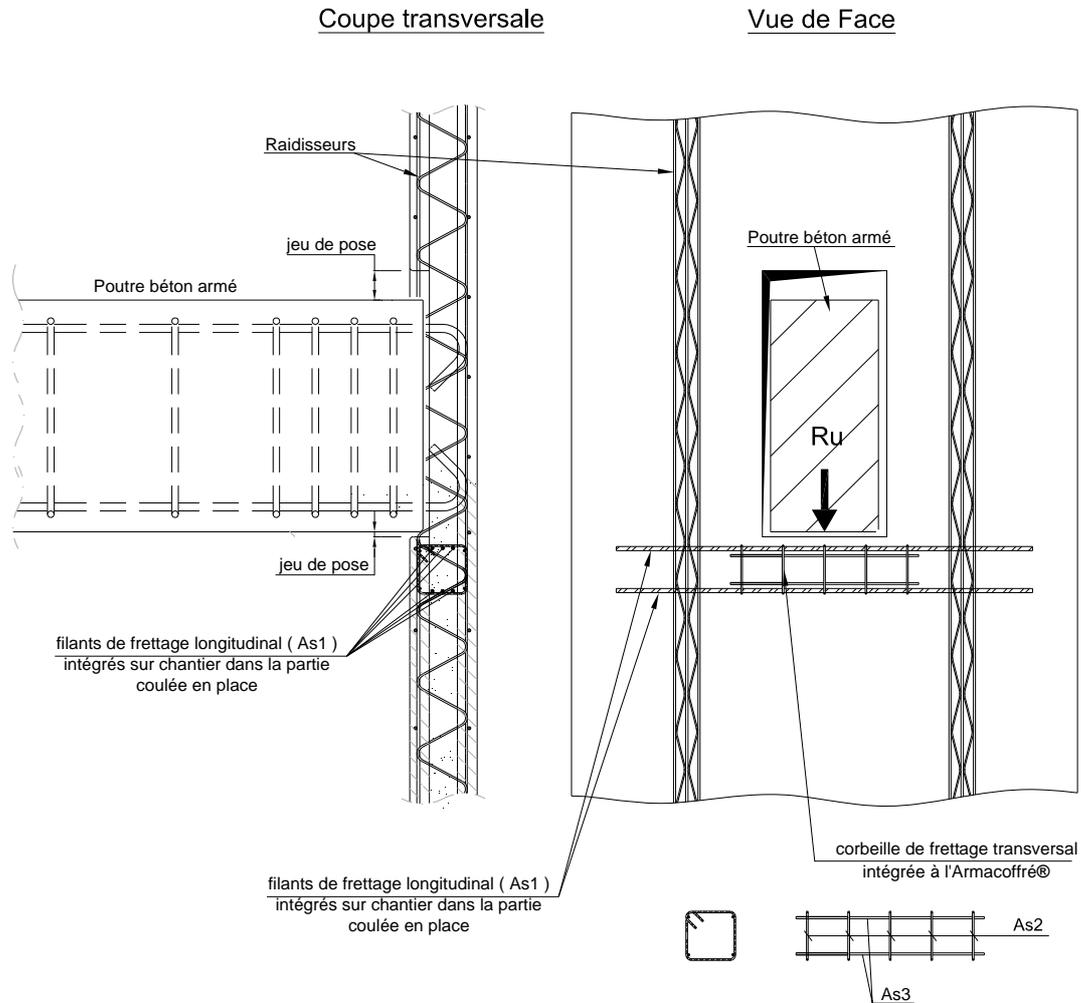
Températures dans le voile exposé du procédé H&H après 90 minutes d'exposition à l'incendie conventionnel ISO R-834 – hypothèses de calcul Eurocodes.																
Distance à la face exposée [cm]		0	0,5	1	2	4	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30
Épaisseur du voile [cm]	12	971	873	783	630	415	283	205	165	154						
	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 23- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 90 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

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 24- Température dans les Thermacoffré® pour une exposition de 120 minutes – Hypothèses de calcul Eurocodes

## 19. Annexe 9 : Justification des renforts du Thermacofré® 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

## 20. Annexe 10: Traitement de l'étanchéité entre panneaux Thermacoffré®

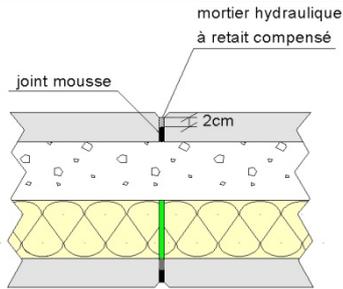


Figure 69 - Traitement du joint intérieur entre Thermacoffrés®

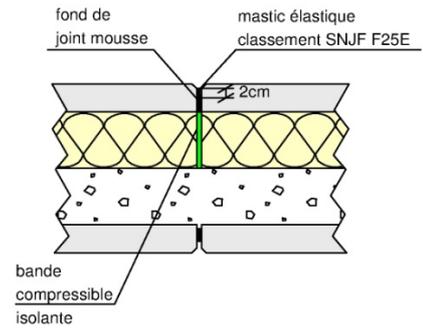


Figure 70 - Traitement du joint extérieur entre Thermacoffrés®

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 compriband mis en œuvre sur la tranche de l'isolant à l'avancement de la pose des thermacoffrés®.

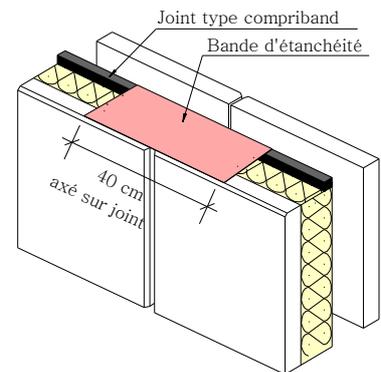
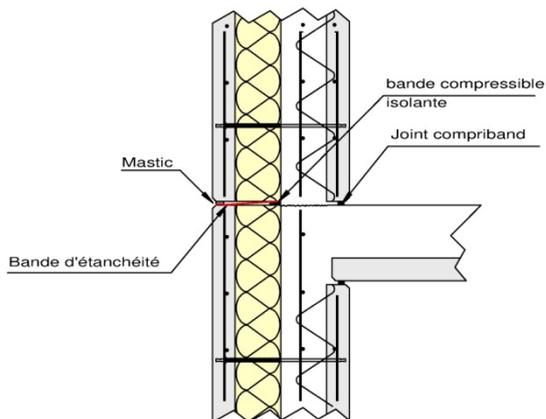


Figure 71 - Traitement des joints verticaux et horizontaux

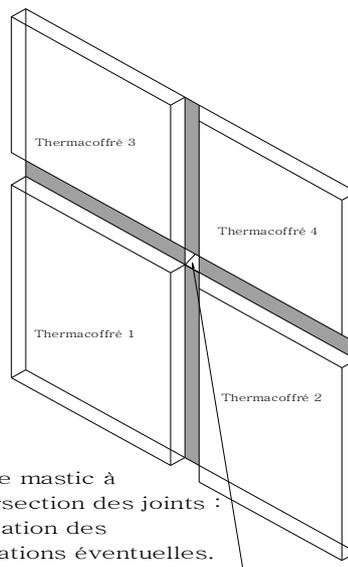
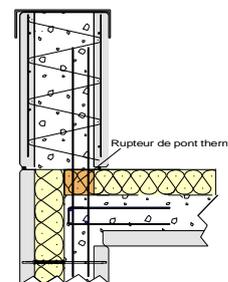
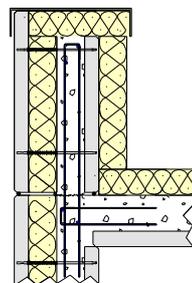
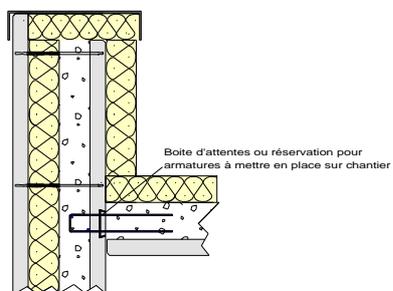
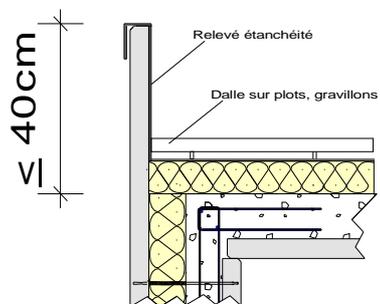
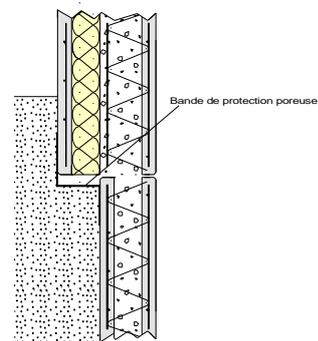
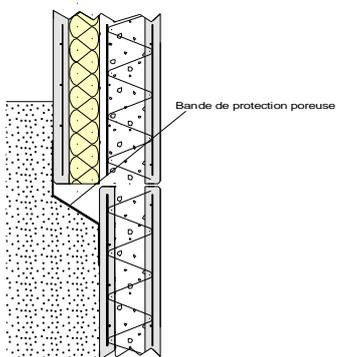
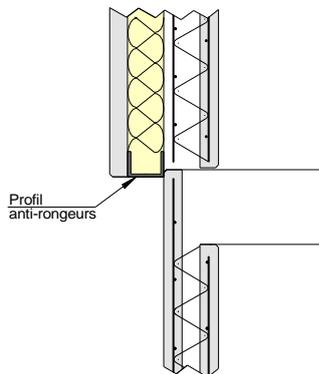


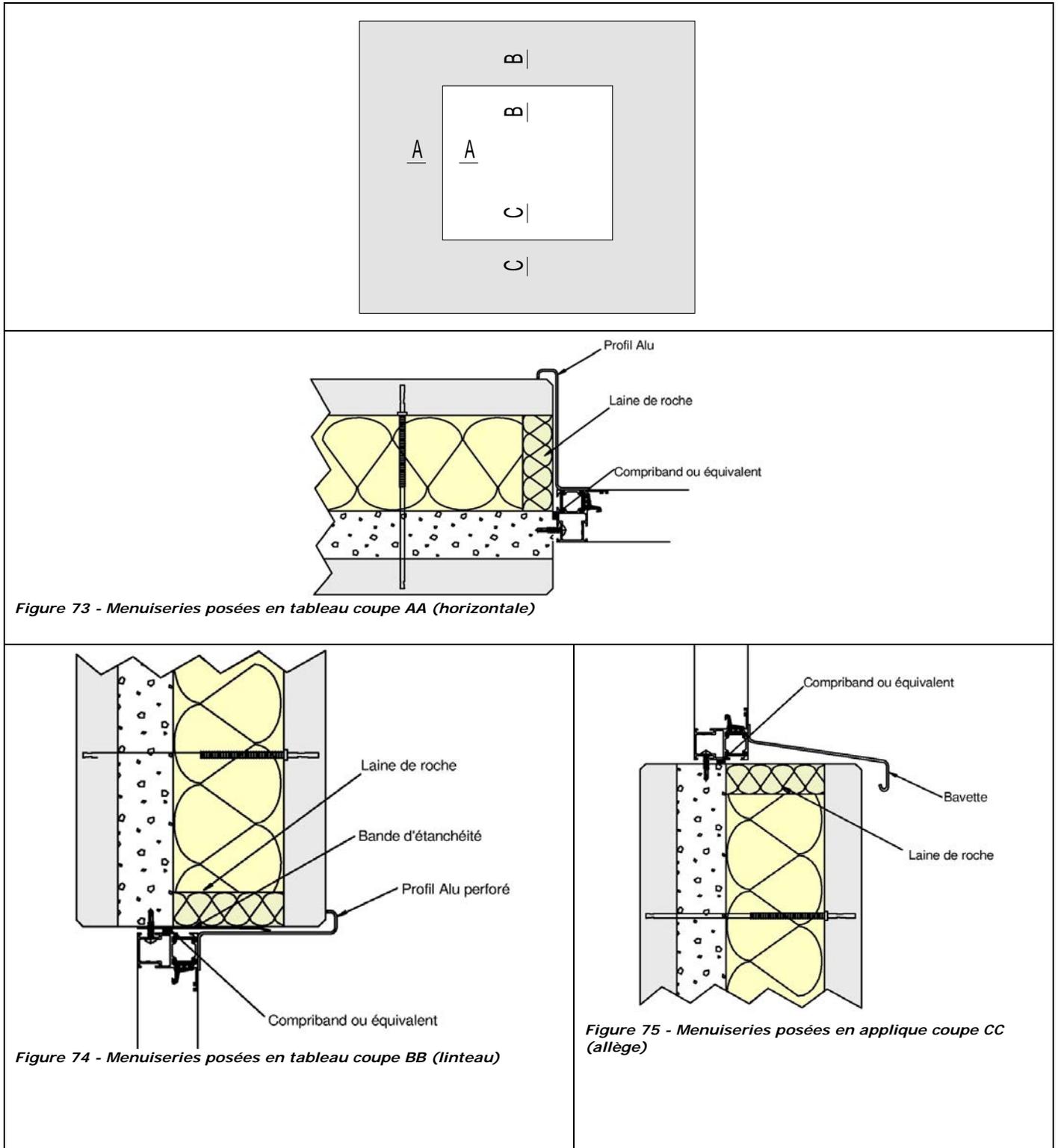
Figure 72 - Traitement de l'intersection de Thermacoffrés® accolés superposés.

## 21. Annexe 11 : Traitement des pieds et têtes de Thermacoffré®



## 22. Annexe 12 : Traitement des baies

### 22.1 Menuiseries posées en tableau



## 22.2 Menuiseries posées en applique

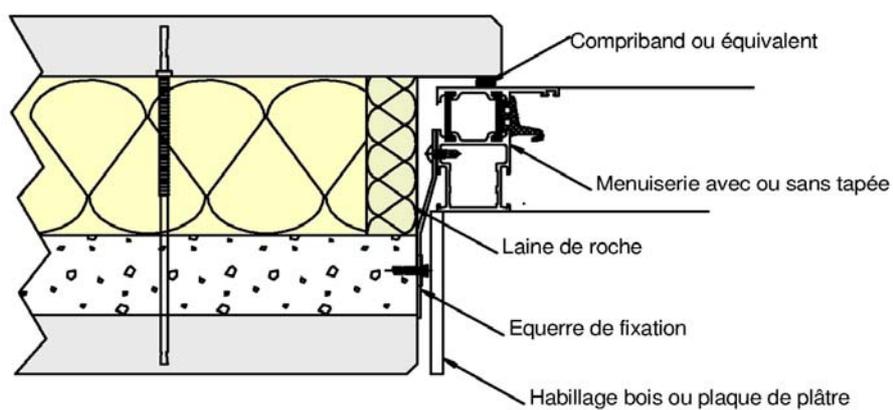
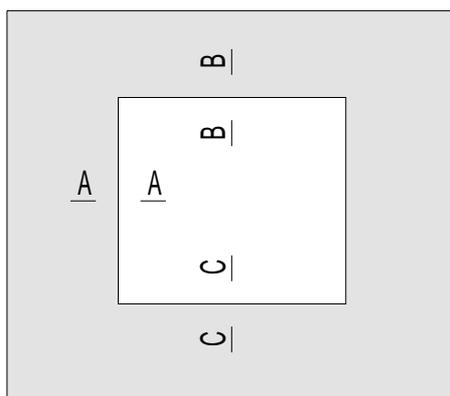


Figure 76 - Menuiseries posées en applique coupe AA (horizontale)

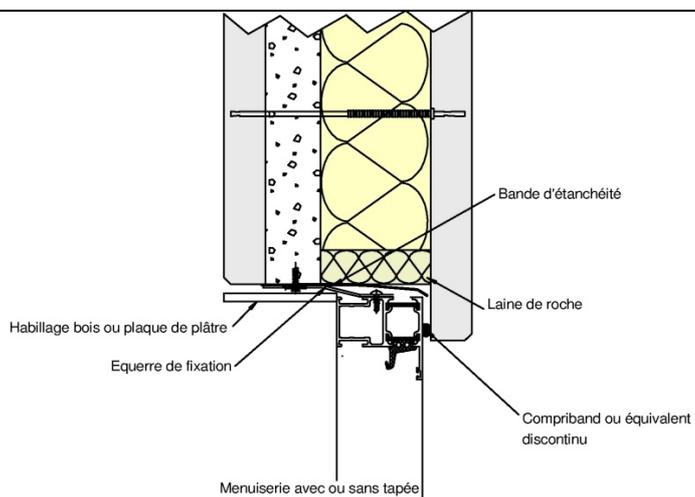


Figure 77 - Menuiseries posées en applique coupe BB (linteau)

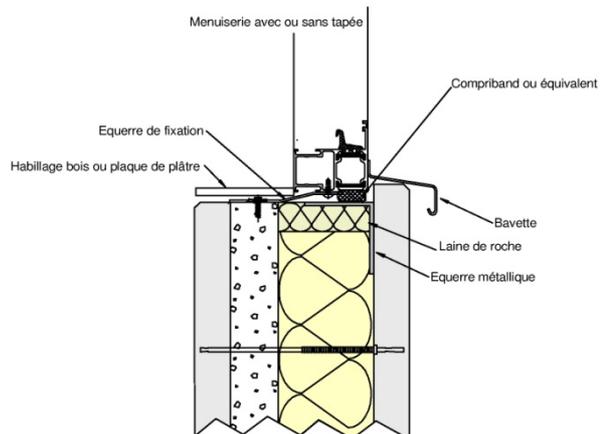


Figure 78 - Menuiseries posées en applique coupe CC (allège)

### 22.3 Menuiseries posées en tunnel

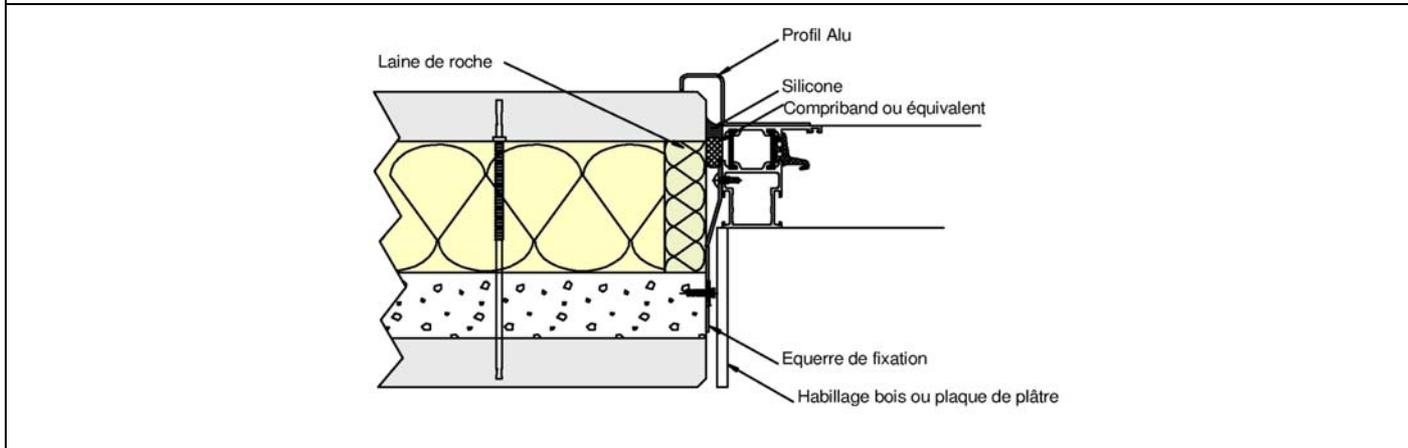
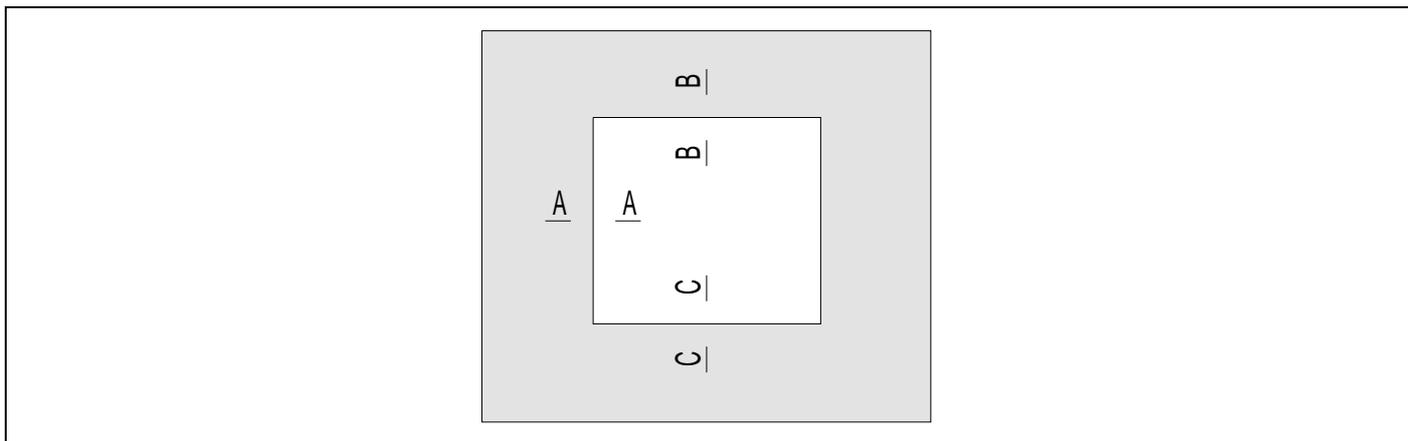


Figure 79 - Menuiseries posées en tunnel coupe AA (horizontale)

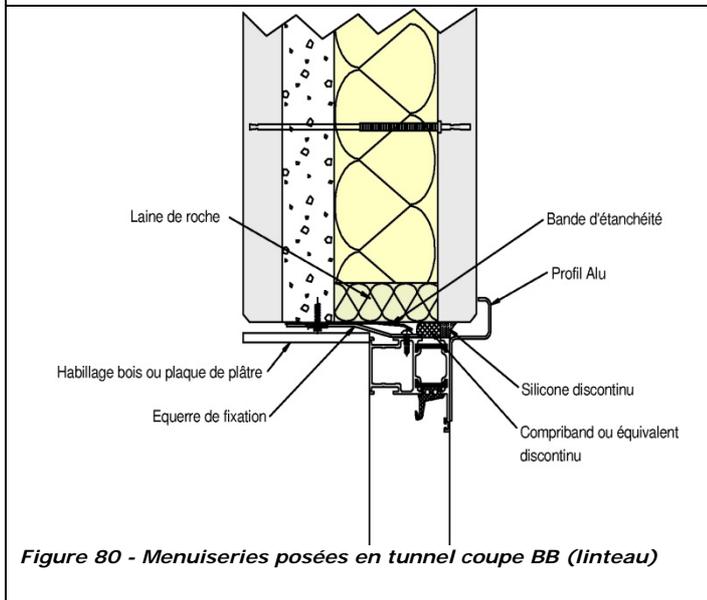


Figure 80 - Menuiseries posées en tunnel coupe BB (linteau)

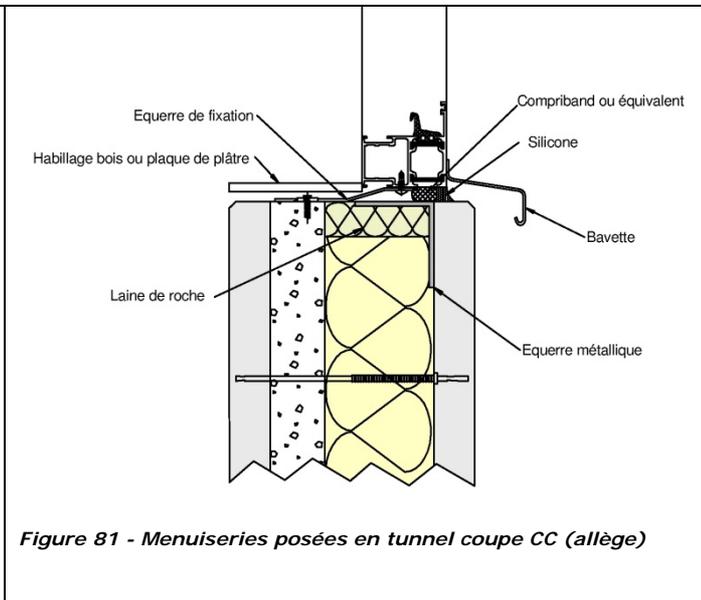


Figure 81 - Menuiseries posées en tunnel coupe CC (alège)

## 23. Annexe 13 Dispositions constructives générales

### 23.1 Vue générale d'un Thermacoffré®

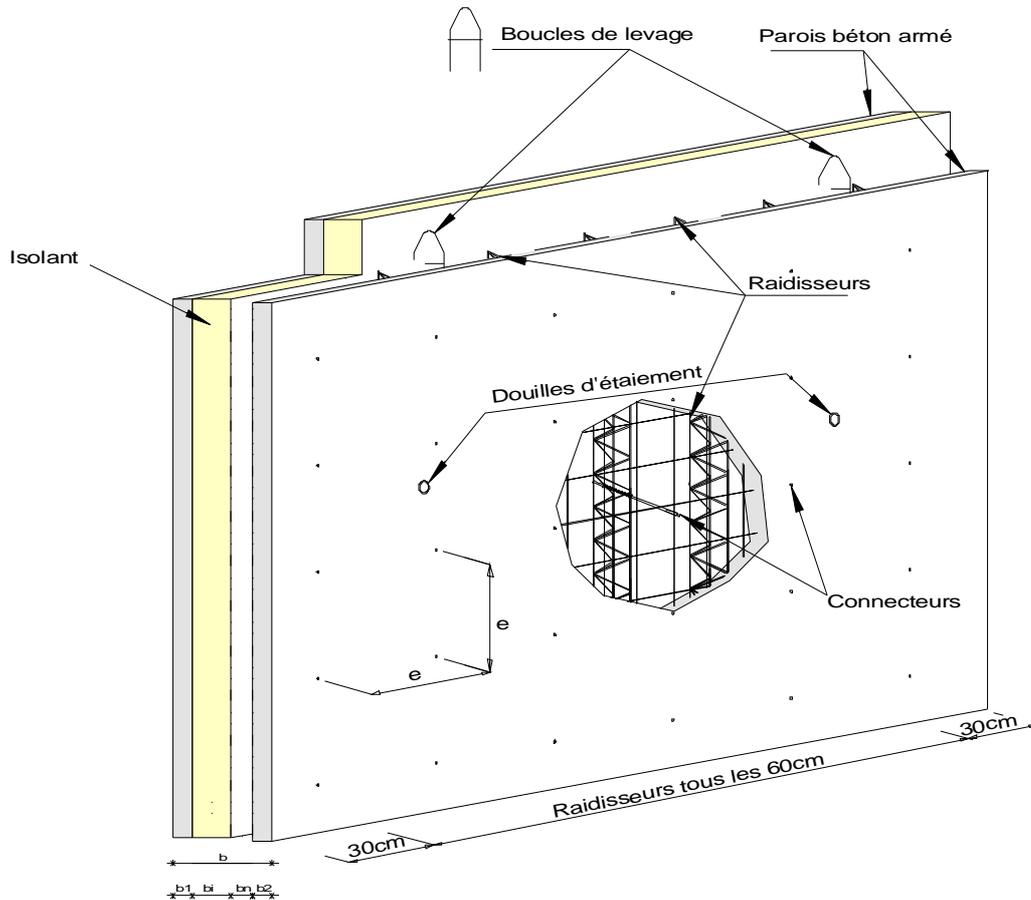
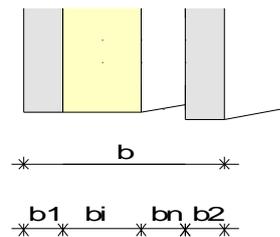


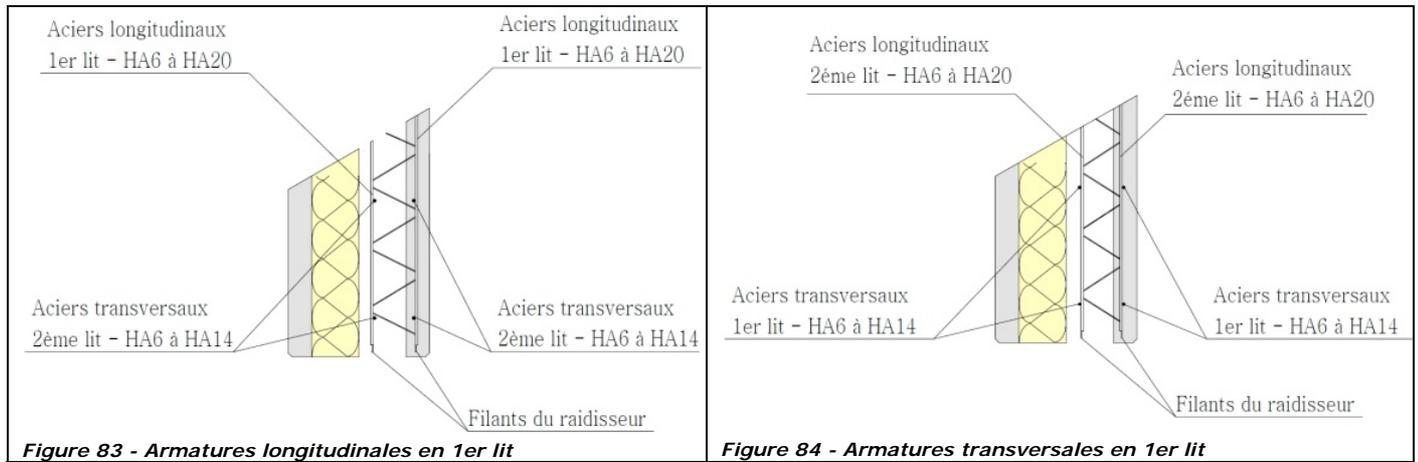
Figure 82 - Vue générale d'un Thermacoffré®

e: espacement des connecteurs  $\leq 50$  cm  
 b: épaisseur totale du Thermacoffré®  
 b<sub>1</sub>: épaisseur de la paroi extérieure

b<sub>i</sub>: épaisseur de l'isolant  
 b<sub>n</sub>: épaisseur du noyau coulé en place  
 b<sub>2</sub>: épaisseur de la paroi extérieure



### 23.2 Principe d'armature d'un Thermacoffré®



### 23.3 Douilles d'étaieiment

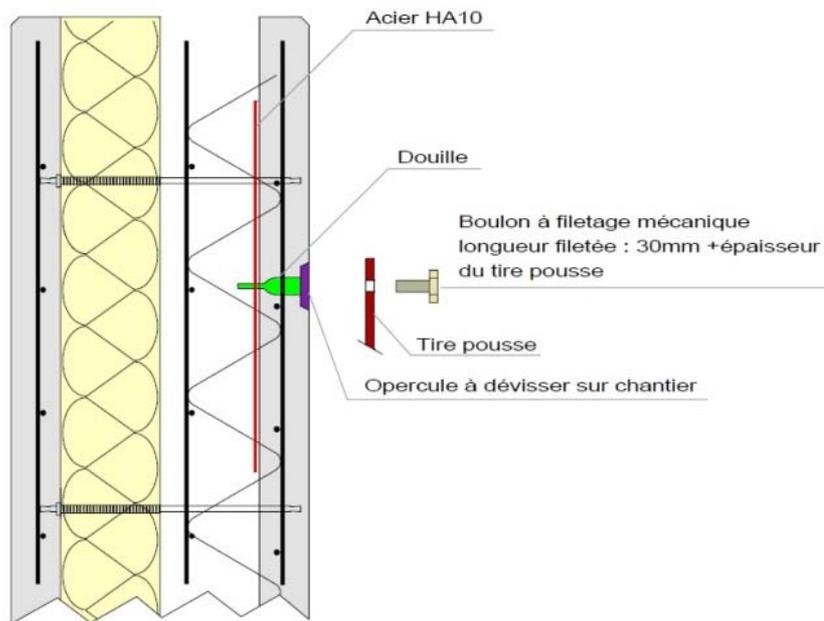


Figure 85 - Détail douille d'étaieiment

## 23.4 Incorporation de poteaux au Thermacoffré®

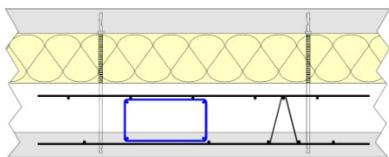


Figure 86 - Poteau intégré au Thermacoffré®

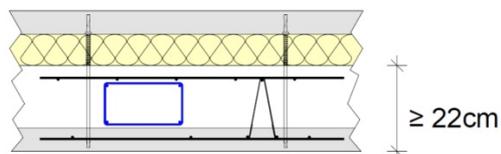


Figure 87 - Poteau mis en œuvre dans l'épaisseur du noyau coulé en place

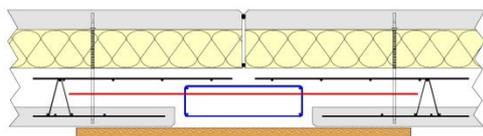


Figure 88 - Poteau coulé en place au droit d'un joint vertical

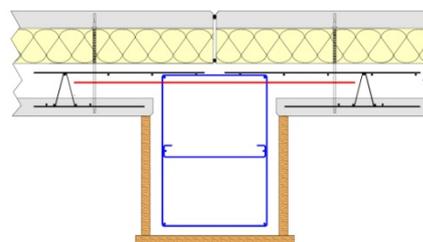


Figure 89 - Poteau excentré coulé en place au droit d'un joint vertical

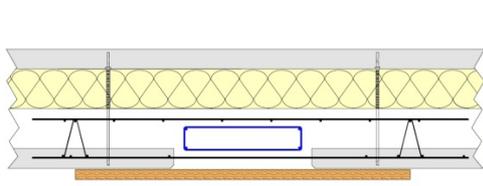


Figure 90 - Poteau excentré coulé en place en partie courante

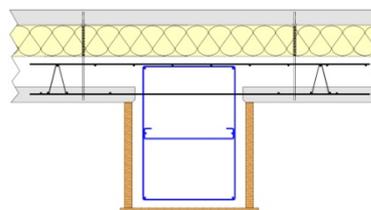


Figure 91 - Poteau excentré coulé en place en partie courante

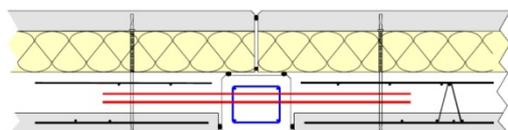


Figure 92 - Poteau préfabriqué broché

### 23.5 Principe d'armature des poutres ou longrines réalisées avec des Thermacoffrés®

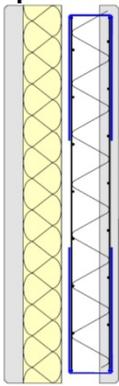


Figure 93 - Longrine  $h > 80$  cm, (raidisseurs verticaux)

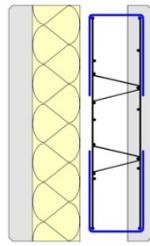


Figure 94 - Longrine  $h < 80$  cm, (raidisseurs horizontaux)

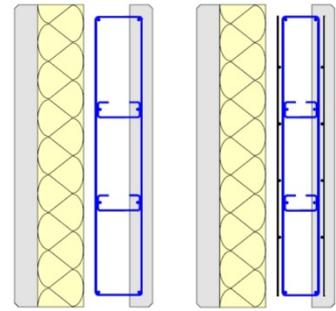


Figure 95 - Longrine réalisée avec des corbeilles

### 23.6 Principe d'armature de poteaux réalisés à partir de Thermacoffrés®

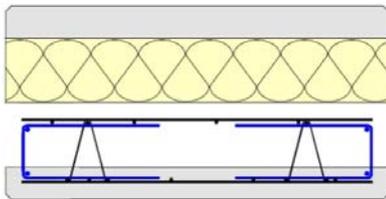


Figure 96 - Armature de poteau réalisée avec des raidisseurs et U

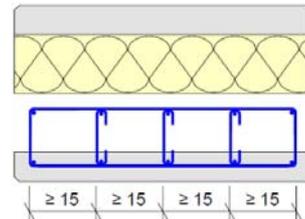


Figure 97 - Armature de poteau réalisée avec des cadres filants et épingles

### 23.7 Liaisons en pied du Thermacoffré®

#### 23.71 Liaisons en pied articulées

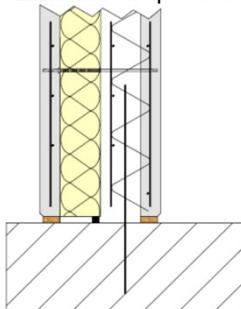


Figure 98 - 1 file d'armatures en attente

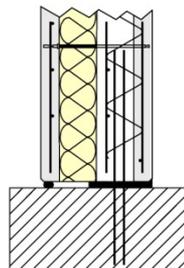


Figure 99 2 files d'armatures en attente

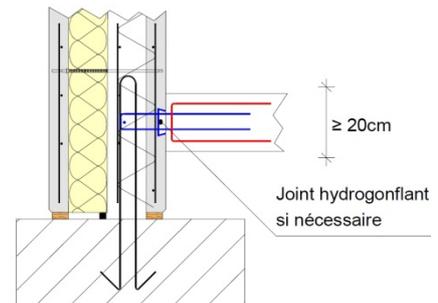


Figure 100 Liaison couturée avec plancher bas (boîte d'attente ou réservation horizontale pour attentes posées sur chantier)

23.72 Liaisons encastrées en pied de type A, le Thermacoffré® est posé sur le béton de propreté avant réalisation du radier ou plancher

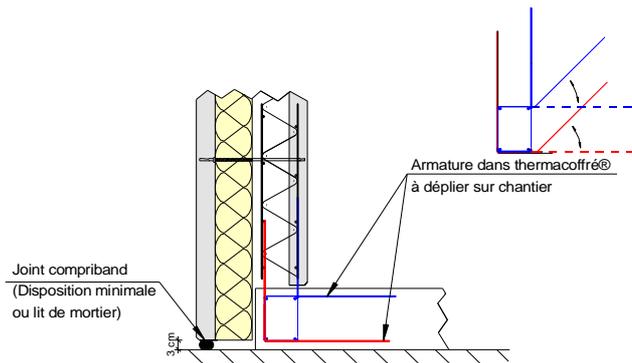


Figure 101 - Liaison encastrée de type A1

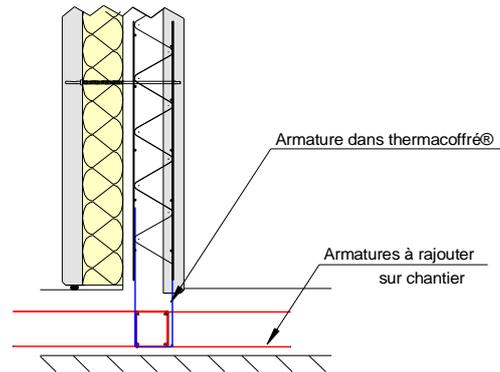


Figure 102 - Liaison encastrée de type A3

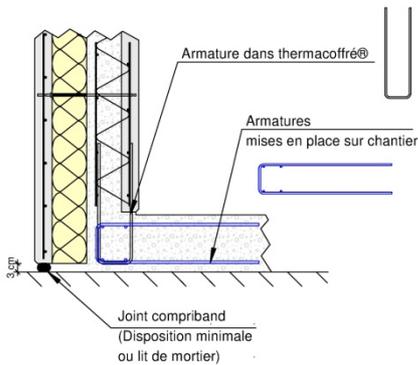


Figure 103 - Liaison encastrée de type A4

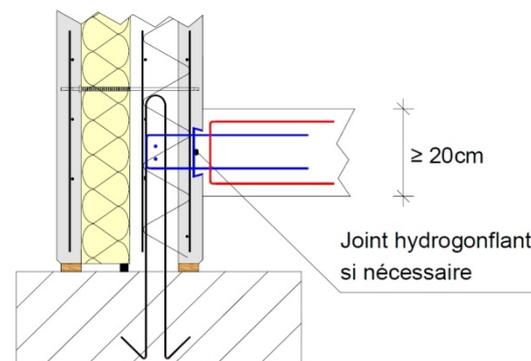


Figure 104 - Liaison encastrée avec plancher bas

23.73 Liaisons encastrées en pied de type B, le Thermacoffré® est posé sur fondations ou radier

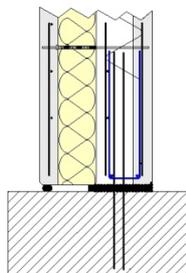


Figure 105 - Liaison B1  
Pose sur lit de mortier

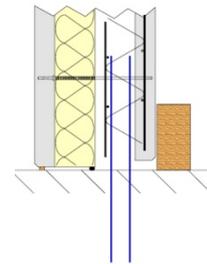


Figure 106 - Liaison B1'  
Calage > 30 mm

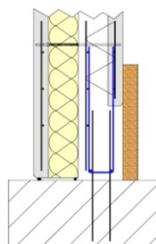


Figure 107 - Liaison B3  
Prévoir des «pieds béton» sur la paroi intérieure

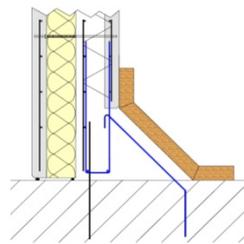


Figure 108 - Liaison B4

## 23.8 Liaisons entre Thermacoffré® et plancher

23.81 Liaisons articulées entre Thermacoffré® et plancher

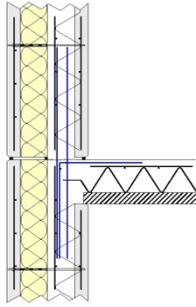


Figure 109 - Appui de rive articulé avec ou sans niveau supérieur

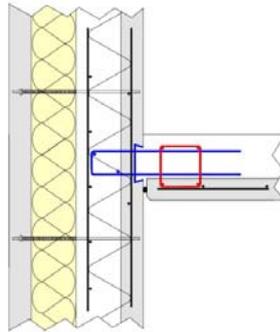


Figure 110 - Plancher suspendu avec boîte d'attentes

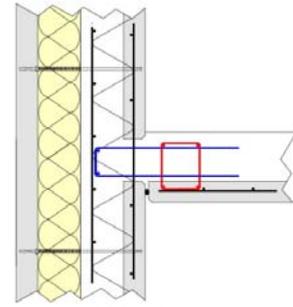


Figure 111 - Plancher suspendu avec attentes posées sur chantier

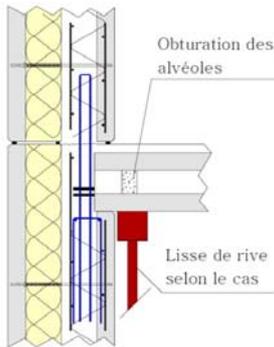


Figure 112 - Dalle alvéolaire en appui de rive avec ou sans niveau supérieur

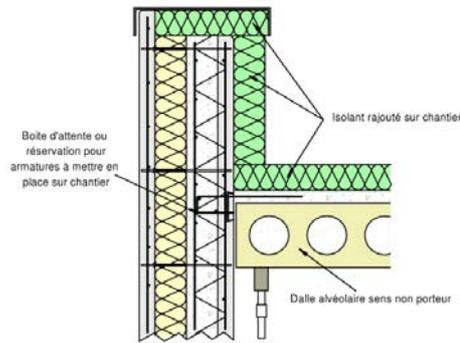


Figure 113 - Dalle alvéolaire avec acrotère - Sens non porteur

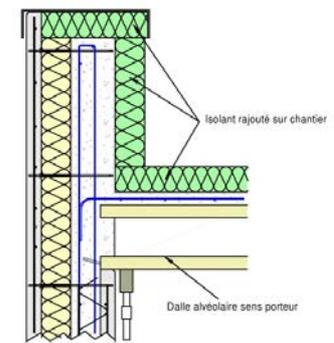


Figure 114 - Dalle alvéolaire avec acrotère - Sens porteur

## 23.82 Liaisons encastrées entre Thermacoffré® et plancher

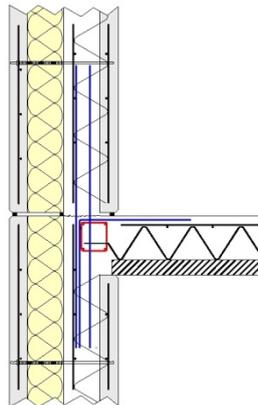


Figure 115 - Appui de rive encastré avec ou sans niveau supérieur

### Liaisons verticales

#### 23.91 Liaisons verticales 1 nappe de treillis

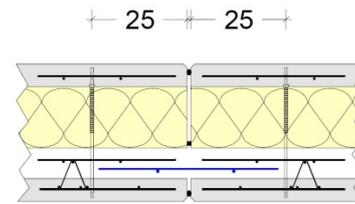


Figure 116 - Liaison verticale droite simple

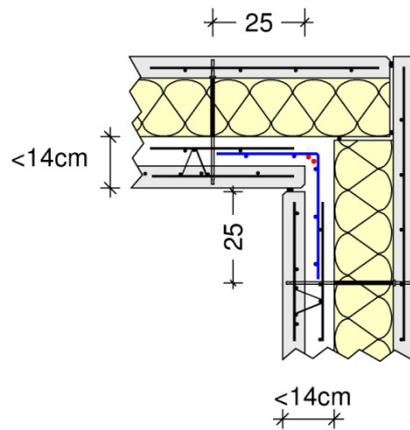


Figure 117 - Liaison verticale d'angle simple

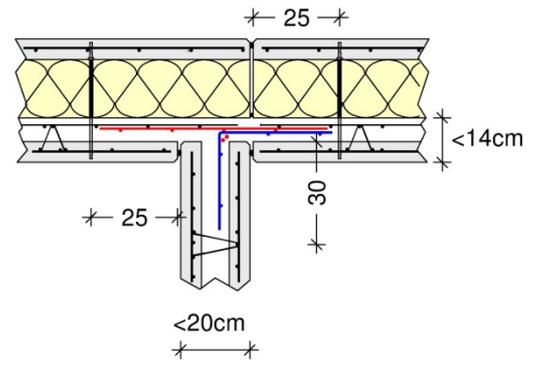


Figure 118 - Liaison verticale en T simple

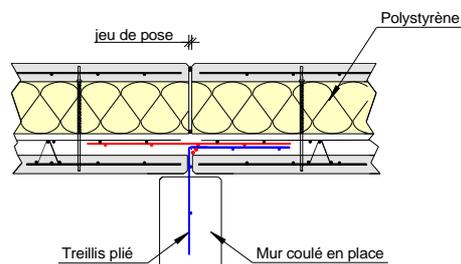


Figure 119 - Liaison verticale en T simple avec voile coulé en place

### 23.92 Liaisons verticales 1 nappe de treillis avec chaînage

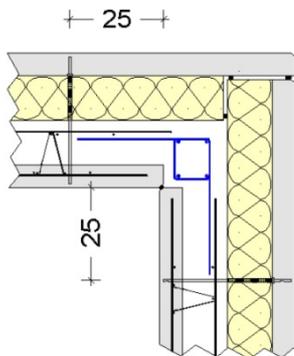


Figure 120 - Liaison verticale d'angle simple avec chaînage

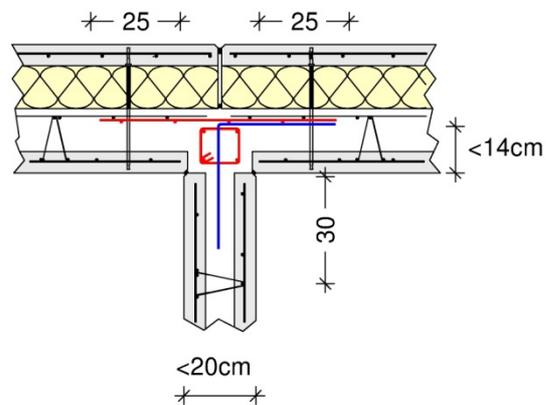


Figure 121 - Liaison verticale en T simple avec chaînage

### 23.93 Liaisons verticales courantes

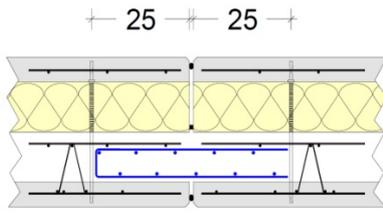


Figure 122 - Liaison verticale droite double

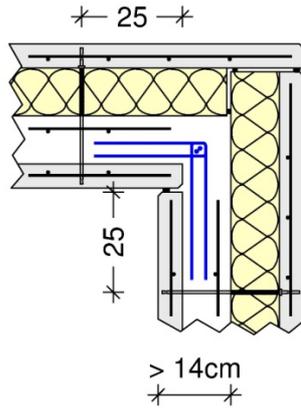


Figure 123 - Liaison d'angle double

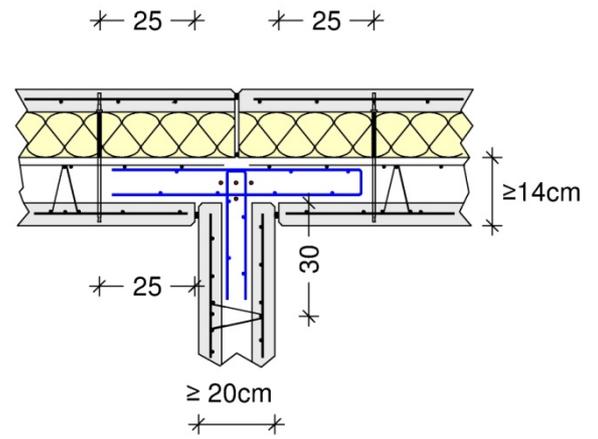


Figure 124 - Liaison en T double

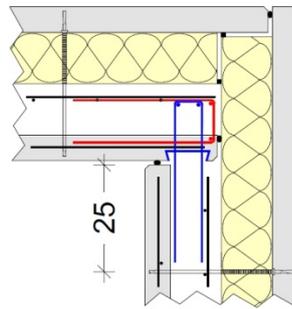


Figure 125 - Liaison d'angle double avec planche d'attente

23.94 Liaisons verticales courantes avec chaînage

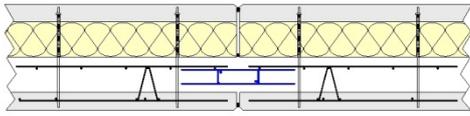


Figure 126 - Liaison verticale droite double avec chaînage

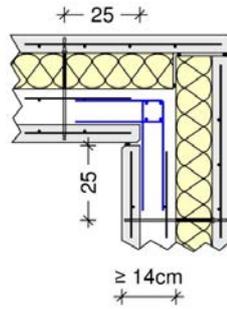


Figure 127 - Liaison verticale d'angle double avec chaînage

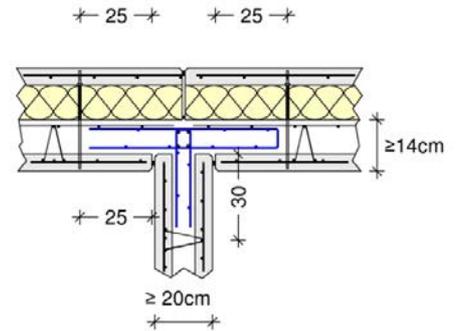


Figure 128 - Liaison verticale en T double avec chaînage

23.95 Liaisons verticales couturées

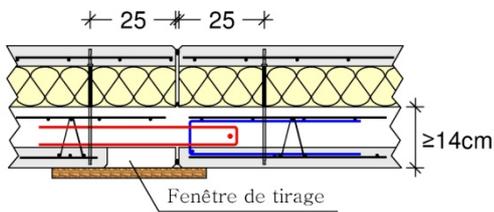


Figure 129 - Liaison verticale droite couturée

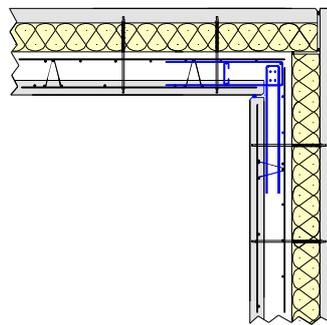


Figure 130 - Liaison verticale d'angle couturée

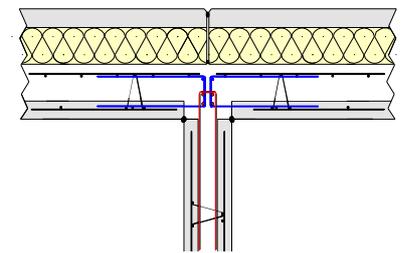


Figure 131 - Liaison verticale d'angle couturée

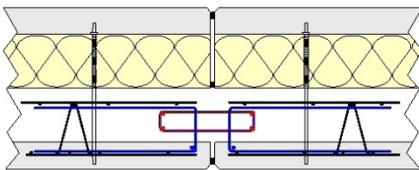


Figure 132 - Liaison verticale droite couturée avec chaînage C1

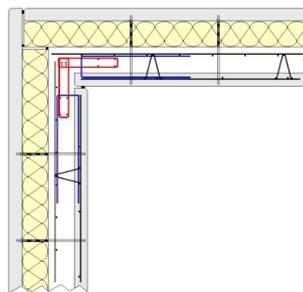


Figure 133 - Liaison verticale d'angle couturée avec chaînage C2

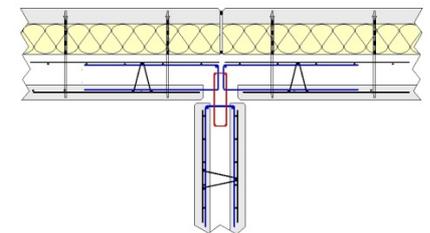


Figure 134 - Liaison verticale en T couturée avec chaînage C3

### 23.96 Liaisons verticale encastrées

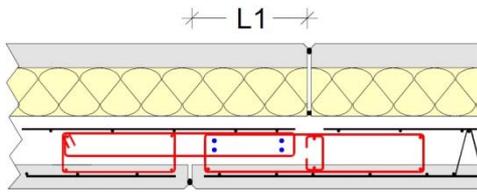


Figure 135 - Liaison encastrée E1

Cette solution n'est pas compatible avec des armatures en attente du support. Le thermacoffré® doit être posé avant la réalisation de la fondation ou du radier  
 $L1 = 16\varnothing + 7 \text{ cm}$

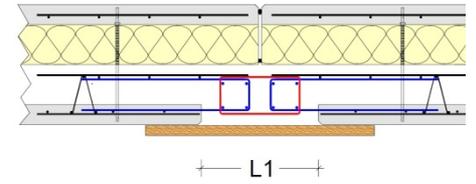


Figure 136 - Liaison encastrée E2

Coffrage de la liaison sur chantier  
 $L1 = 32\varnothing + 7 \text{ cm}$

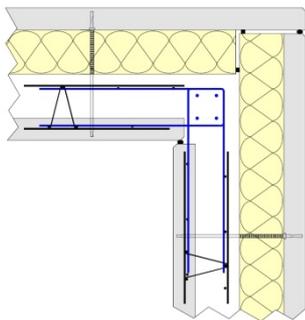


Figure 137 - Cette solution n'est pas compatible avec des armatures en attente. Les thermacoffrés® doivent être posés avant la réalisation de la fondation ou du radier E3

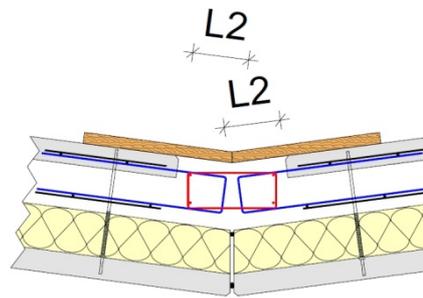


Figure 138 - Angles > à 165°  $L2 = 32\varnothing + 7 \text{ cm}$

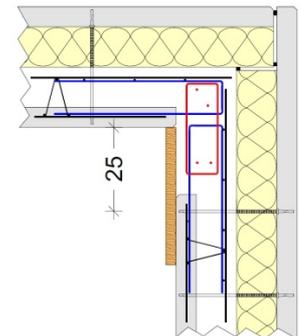


Figure 139 - Coffrage de la paroi intérieure E4

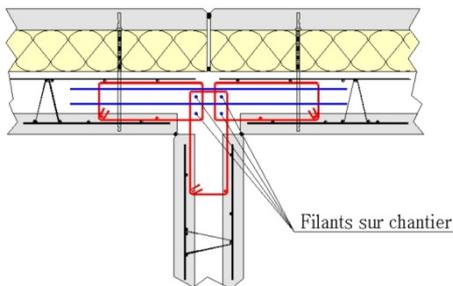


Figure 140 - E5

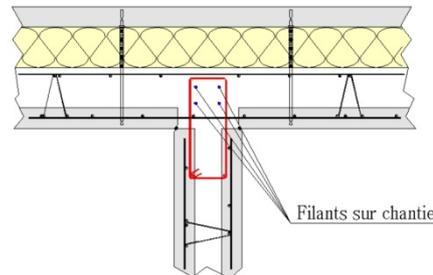


Figure 141 - E6

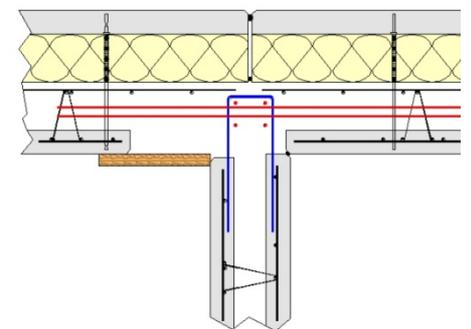


Figure 142 - E7

### 23.10 Liaisons horizontales entre deux Thermacoffrés

#### 23.101 Liaisons horizontales articulées entre deux Thermacoffrés

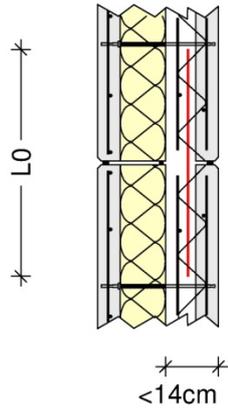


Figure 143 -  $L0 = 2ls + 15 \text{ cm}$

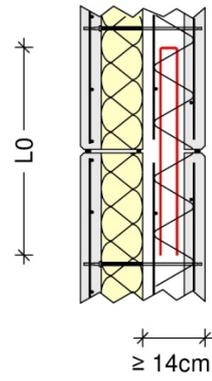


Figure 144 -  $L0 = 2ls + 15 \text{ cm}$

### 23.102 Liaisons horizontales encastrées entre deux Thermacoffrés

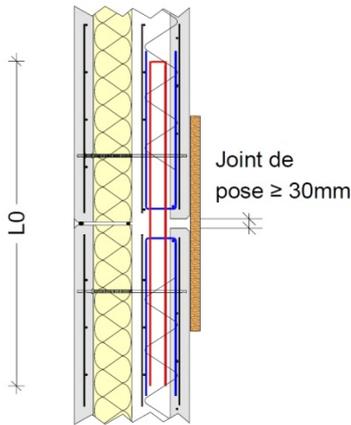


Figure 145 - Jeu de pose  $\geq 30 \text{ mm}$   $L0 = 2ls + 15 \text{ cm}$  E8

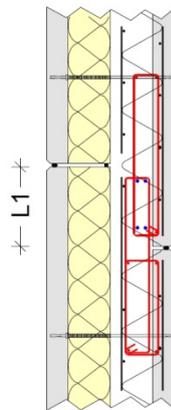


Figure 146 -  $L1 = 16 \varnothing + 7 \text{ cm}$  E9

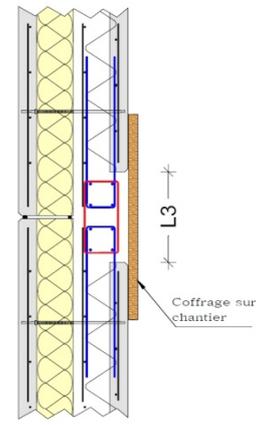


Figure 147 -  $L3 = 32 \varnothing + 7 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$  E10

### 23.11 Réalisation d'une poutre voile avec du Thermacoffré®

#### 23.111 Poutre voile sans plancher inférieur suspendu

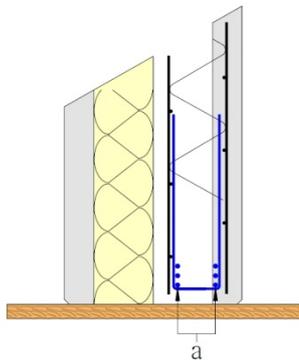


Figure 148 - Tirants intégrés au Thermacoffré® sans joint vertical  
a : tirants inférieurs

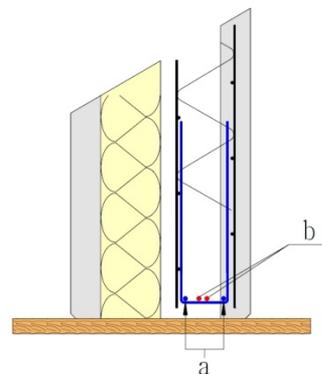
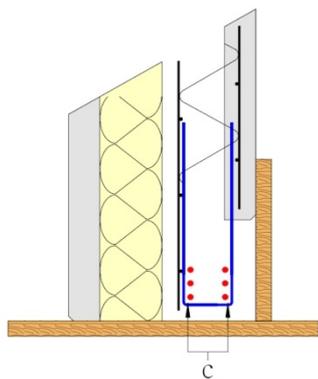
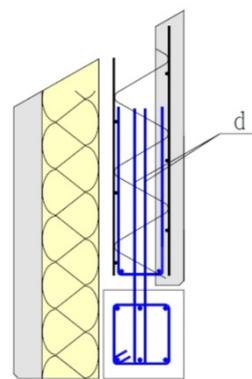


Figure 149 - Tirants intégrés aux Thermacoffrés® avec joint vertical  
b : armatures de recouvrements



**Figure 150 - Tirants inférieurs mis en œuvre sur chantier avec ou sans joints verticaux**

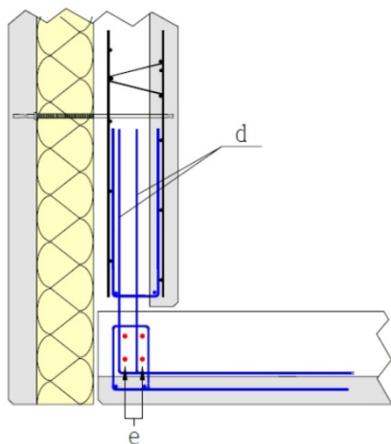
c : tirants inférieurs mis en œuvre sur chantier



**Figure 151 - Tirant réalisé sur chantier**

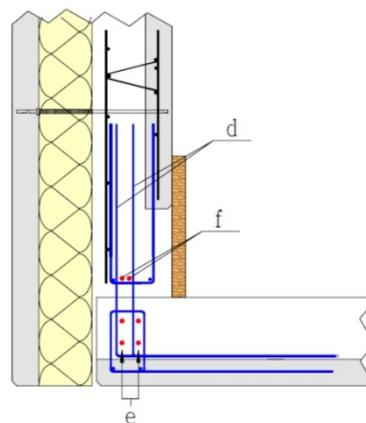
d : armatures de coutures entre le Thermacoffré® et le tirant réalisé sur chantier.

23.112 Poutre voile avec plancher inférieur suspendu



**Figure 152 - Tirants intégrés au plancher inférieur avec ou sans joints verticaux**

d : armatures de couture  
e : tirants inférieurs

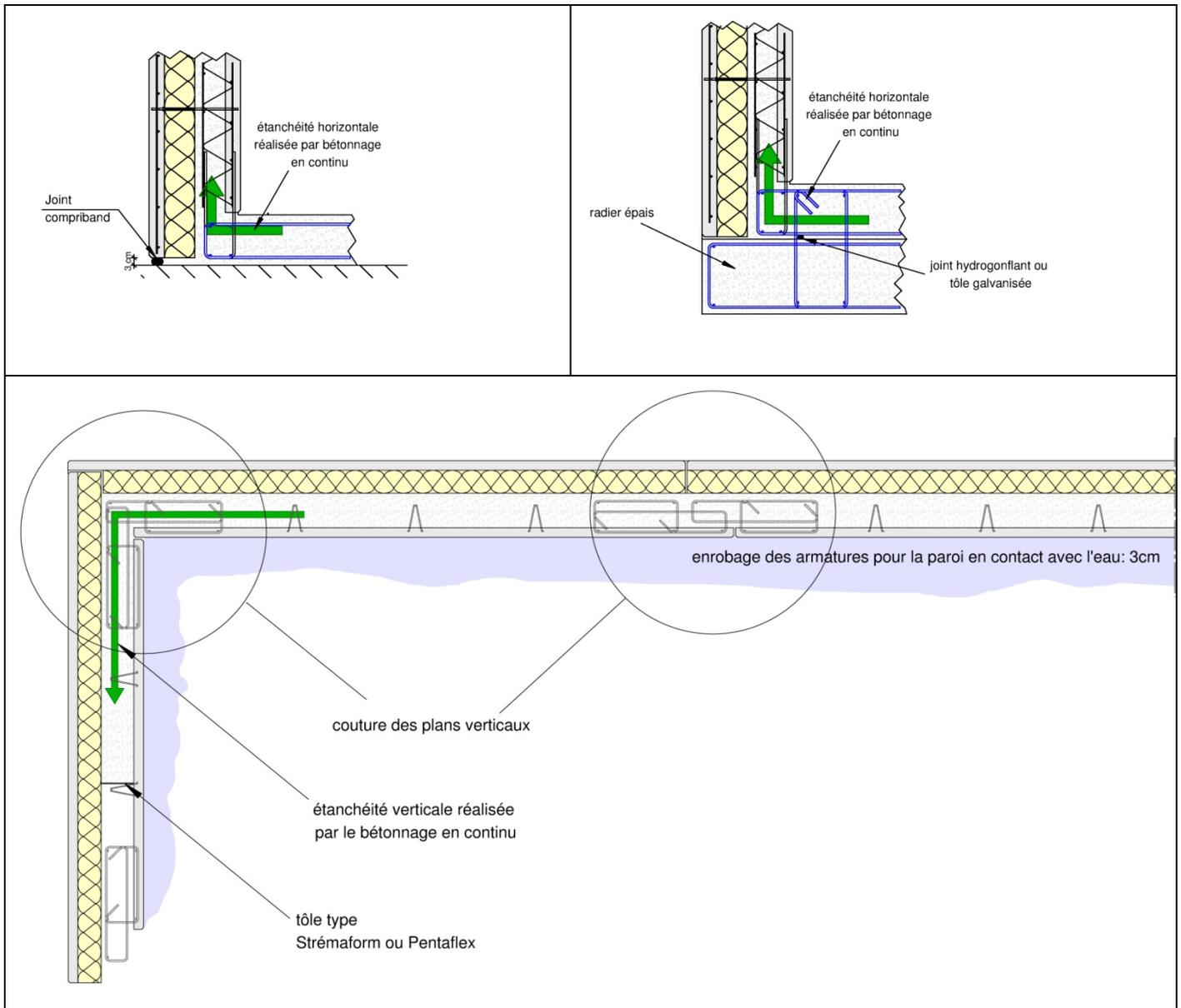


**Figure 153 - Tirants intégrés au plancher inférieur et Thermo-coffrés® avec joints verticaux**

f : armatures de recouvrement

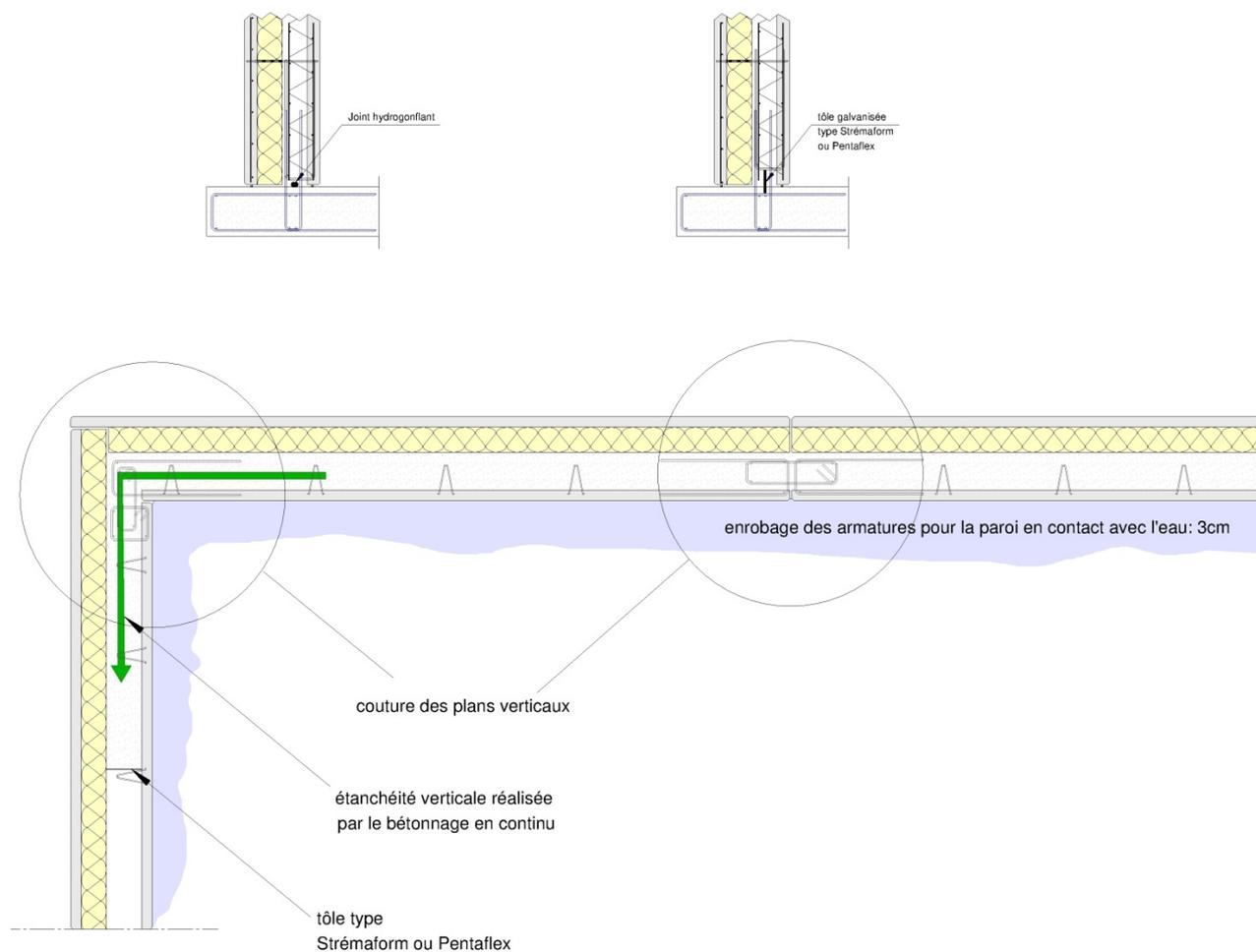
### 23.12 Traitement du plan d'étanchéité par coulage en continu pour cuve et bassin

L'étanchéité est assurée par le coulage en continu du noyau du Thermacoffré® et par couture des joints



### 23.13 Plan d'étanchéité avec reprise de bétonnage pour cuve et bassin

La reprise de bétonnage du plan horizontal est assurée par la mise en œuvre d'un joint Hydrogonflant ou d'une tôle d'arrêt d'eau.  
Les plans verticaux sont garantis par la mise en place de coutures dans les zones du joint physique entre panneaux et d'un bétonnage en continu dans ces zones. Les reprises de bétonnage sont effectuées en zone centrales des Thermacoffré® avec l'aide de la tôle d'arrêt type Strémaform ou Pentaflex.



### 23.14 Plan d'étanchéité avec reprise de bétonnage et étanchéité rapportée pour ouvrages soumis à pression hydrostatique

L'étanchéité des joints verticaux et horizontaux est assurée par la mise en œuvre de bande d'étanchéité type sikadur combiflex et l'ensemble de la surface des Thermacoffré® est recouverte avec un revêtement bitumineux épais.

